



## Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Florestas  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 265**

# **Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo**

Josiléia Acordi Zanatta  
Bruno José Rodrigues Alves  
Cimélio Bayer  
Michely Tomazi  
Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes  
Falberni de Souza Costa  
Arminda Moreira de Carvalho

Embrapa Florestas  
Colombo, PR  
2014

**Embrapa Florestas**

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,

83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

[www.embrapa.br/florestas](http://www.embrapa.br/florestas)

[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Alvaro Figueredo dos Santos, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Elenice Fritzsons, Guilherme Schnell e Schuhli, Jorge Ribaski, Luis Claudio Maranhão Froufe, Maria Izabel Radomski, Susete do Rocio Chiarello Penteado

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Patrícia Póvoa de Mattos

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Editoração eletrônica: Rafaele Crisostomo Pereira

Projeto gráfico da capa: Embrapa Pecuária Sudeste

Autoria das figuras presentes nesta publicação: Bruno José

Rodrigues Alves (Figura 1 e 2)

**1ª edição**

Versão eletrônica (2014)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Florestas**

---

Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo

[recurso eletrônico] / Josiléia Acordi Zanatta... [et al.]. Dados eletrônicos - Colombo : Embrapa Florestas, 2014.

(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; 265)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

Título da página da web (acesso em 28 abr. 2015).

1. Solo. 2. Efeito estufa. 3. Medição. . I. Zanatta, Josiléia Acordi. II. Alves, Bruno José Rodrigues. III. Bayer, Cimélio. IV. Tomazi, Michely. V. Fernandes, Ana Helena Bergamin Marozzi. VI. Costa, Falberni de Souza. VII. Carvalho, Arminda Moreira de. VIII. Série.

CDD 631.4 (21. ed.)

# **Autores**

## **Josiléia Acordi Zanatta**

Engenheira-agrônoma, Doutora,  
Pesquisadora da Embrapa Florestas  
josileia.zanatta@embrapa.br

## **Bruno José Rodrigues Alves**

Engenheiro-agrônomo, Doutor,  
Pesquisador da Embrapa Agrobiologia  
bruno.alves@embrapa.br

## **Cimélio Bayer**

Engenheiro-agrônomo, Doutor,  
Professor do Departamento de Solos da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
cimelio.bayer@ufrgs.br

## **Michely Tomazi**

Engenheira-agrônoma, Doutora,  
Pesquisadora da Embrapa Agropecuária Oeste,  
michely.tomazi@embrapa.br

## **Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes**

Engenheira-agrônoma, Mestre,  
Pesquisadora da Embrapa Pantanal,  
ana.marozzi-fernandes@embrapa.br

## **Falberni de Souza Costa**

Engenheiro-agrônomo, Doutor,  
Pesquisador da Embrapa Acre,  
falberni.costa@embrapa.br

**Arminda Moreira de Carvalho**  
Engenheira-agrônoma, Doutora,  
Pesquisadora da Embrapa Cerrados,  
[arminda.carvalho@embrapa.br](mailto:arminda.carvalho@embrapa.br)

# Apresentação

Este protocolo descreve o aparato para a coleta das amostras de ar, bem como os procedimentos para a construção das câmaras estáticas, coleta, armazenamento e transporte das amostras, análise cromatográfica, cálculos das emissões e obtenção de variáveis associadas aos processos de emissão de gases de efeito estufa (GEE) do solo. O protocolo adotará as câmaras estáticas fechadas, devido ao menor custo dos instrumentos, se comparado às câmaras semi-automáticas e automáticas, possibilitando a avaliação em maior número de locais (entenda-se repetições, tratamentos, ambientes) dentro da rede de pesquisas. No entanto, como estes instrumentos dependem da operacionalização humana, o correto entendimento dos princípios da técnica garantirá a confiabilidade dos resultados e a possibilidade de comparação entre os diferentes tratamentos/regiões/ambientes.

Os procedimentos descritos destinam-se à avaliação do fluxo de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) do solo, embora também possam ser empregados para a avaliação do fluxo de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Entretanto, a utilização das emissões de  $\text{CO}_2$  no cálculo do balanço dos GEE não é recomendada, pois parte do  $\text{CO}_2$  emitido a partir do solo à atmosfera é proveniente da respiração de raízes e da decomposição de resíduos vegetais. Portanto, trata-se de um  $\text{CO}_2$  que está ciclando, e não de uma emissão líquida. Por essa razão, no balanço dos GEE emitidos pelo solo ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ ), o  $\text{CO}_2$  é obtido pelo balanço do C no solo, considerando experimentos de longa duração ou cronossequências.

Outros gases de interesse, como os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ), requerem outros tipos de equipamentos e instrumentos de campo para serem monitorados, e não foram incluídos neste documento.

Todos os procedimentos de coleta e medida da emissão de GEE podem ser adotados para áreas de produção de grãos, pecuária e floresta, adaptando-se às suas particularidades. Adicionalmente, procedimentos para a execução de estudos de fatores de emissão de dejetos animais, destinados para sistemas agropecuários, e a determinação do balanço das emissões de GEE na forma de carbono equivalente estão descritos.

A avaliação, o refinamento e as readequações neste protocolo devem ser contínuas. Para tanto, sugestões ao material serão bem vindas e consideradas na sua revisão. Salienta-se que o comitê que elaborou este documento encontra-se à disposição para esclarecimentos que persistam.

Sergio Gaiad  
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento  
Embrapa Florestas

# Sumário

1. Descrição do aparato de coleta das amostras de ar e análise dos GEE.....	9
2. Descrição da câmara estática e dos critérios técnicos recomendados .....	11
2.1. Construção da câmara .....	14
2.1.1. Escolha do tipo de câmara .....	14
2.1.2. Montagem da câmara de coleta.....	17
3. Realizando as coletas de ar.....	23
3.1. Tempos de incubação durante a coleta .....	23
3.2. Horário da coleta.....	24
3.3. Preparativos para a coleta .....	25
3.4. Amostragem do ar com seringas .....	26
3.5. Coleta com sistema de bomba manual de vácuo.....	28
4. Transporte e armazenamento das amostras .....	31
5. Análise cromatográfica .....	33
6. Cálculos dos fluxos de GEE .....	34
7. Planilhas recomendadas .....	35
8. Sistema semiautomático de vácuo dos frascos e limpeza das seringas .....	36
9. Monitoramento dos fluxos de GEE do solo.....	39
9.1. Instalando as bases no campo .....	39
9.2. Frequência de amostragem dos fluxos de GEE em campo .....	42
9.3. Análises de variáveis relacionadas .....	42



# Sumário

10. Fatores de emissão dos dejetos.....	44
10.1. Materiais e procedimentos de coleta .....	44
10.2. Escolha do local para realizar as avaliações no campo .....	45
10.3. Definição das doses de esterco e urina .....	45
10.4. Avaliação no campo e frequência de amostragem.....	46
10.5. Análise da concentração de GEE e estimativa do fator de emissão .....	47
10.6. Estimativa da emissão via dejetos do piquete .....	48
10.7. Variáveis relacionadas.....	48
11. Balanço das emissões de GEE na forma de carbono equivalente .....	49
Agradecimentos.....	50
Referências .....	50
Anexos.....	55

# Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo

---

*Josiléia Acordi Zanatta*

*Bruno José Rodrigues Alves*

*Cimélio Bayer*

*Michely Tomazi*

*Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes*

*Falberni de Souza Costa*

*Arminda Moreira de Carvalho*

---

A abordagem do protocolo de medição dos gases de efeito estufa (GEE) destina-se às linhas de pesquisa que visam ao monitoramento das emissões de GEE do solo, à estimativa de balanço de GEE em C-CO<sub>2</sub> equivalente nos diferentes sistemas agropecuários, e à determinação de fatores de emissão dos dejetos animais. Inicialmente, será feita a descrição dos procedimentos gerais do protocolo e, na sequência, os detalhes relativos a cada uma das linhas de pesquisa mencionadas acima.

## 1. Descrição do aparato de coleta das amostras de ar e análise dos GEE

Este protocolo adotará a *câmara estática* como padrão para a avaliação das emissões de GEE do solo, devido ao custo elevado dos demais dispositivos destinados a este propósito (câmara dinâmica e estações micrometeorológicas). Portanto, todas as recomendações serão realizadas com base neste tipo de aparato. No entanto, em locais onde há disponibilidade de torres micrometeorológicas ou câmaras automáticas, o balanço das emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> poderá ser avaliado com esses aparatos, seguindo metodologias específicas. Contudo,

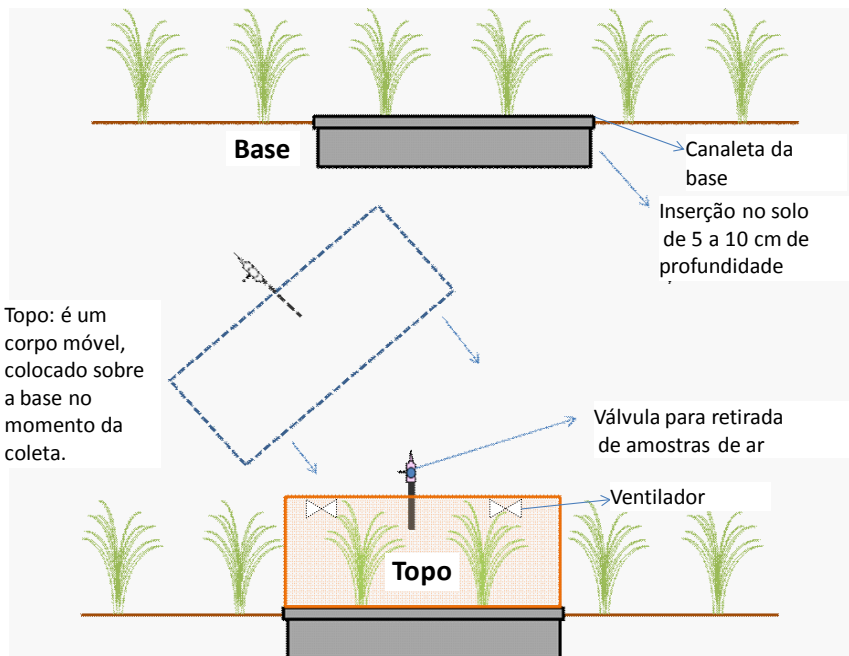
se o equipamento não dispuser de detectores para todos os GEE relacionados, é necessário adotar procedimentos complementares para a obtenção do balanço das emissões dos GEE.

A coleta das amostras de ar nas câmaras pode ser realizada com *seringas ou com sistemas de vácuo manual*. Em ambos os casos, as amostras de ar devem ser transferidas para frascos evacuados para transporte e armazenamento das amostras até a análise. As amostras de ar coletadas serão analisadas para verificação da concentração de  $N_2O$ ,  $CH_4$  e  $CO_2$  por cromatografia gasosa. Quando o cromatógrafo possuir injetor automático, frascos adequados ao equipamento devem ser utilizados. Além dos equipamentos necessários para as medidas de emissão de GEE, recomenda-se também a construção de um *sistema de vácuo* para o preparo dos frascos de transporte e armazenamento das amostras, o qual também será utilizado para a limpeza das seringas de coleta, que poderão ser reutilizadas.

Cada um dos itens destacados acima serão discutidos na sequência.

## 2. Descrição da câmara estática e dos critérios técnicos recomendados

A câmara estática é composta por duas partes independentes, a *base* e *topo* (Figura 1), que, de maneira geral, poderá ser denominada apenas *câmara*. A câmara pode ser confeccionada com base em diversos materiais, como, por exemplo, alumínio, aço galvanizado, poliuretano e polietileno.



**Figura 1.** Esquema de base e topo (ou corpo) da câmara, com detalhes de posicionamento na superfície do solo e da válvula de amostragem para retirada das amostras de ar.

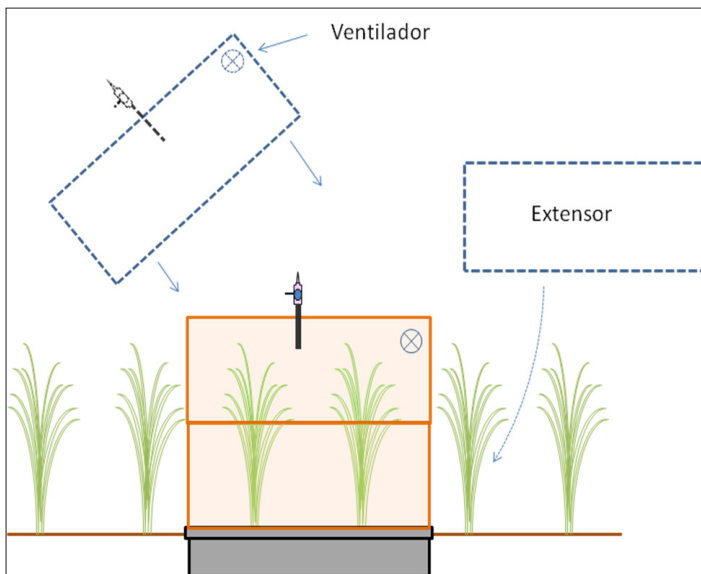
A base é um suporte inserido no solo, que contém, na maioria dos modelos, uma canaleta na parte superior, sobre a qual é disposto o topo da câmara no momento da coleta. As dimensões da canaleta devem ser compatíveis com a largura da parte inferior do topo da câmara, oferecendo encaixe perfeito no momento da coleta, principalmente se o modelo de vedação adotado for com borracha. Se o agente vedante for água, deve-se atentar para a altura da canaleta, principalmente em superfícies inclinadas. O ideal é que a água não transborde no momento do encaixe do topo da câmara na base. Contudo, a altura da base não deve impedir a circulação do ar na superfície do solo. Portanto, recomenda-se bases com até 5 cm de altura acima do solo.

O material da base deve ser suficientemente resistente para permitir sua inserção no solo até a profundidade de 5-10 cm, pois, quanto mais arenoso o solo, maior deverá ser a profundidade de inserção da base. A base deve ser inserida no solo e mantida durante todo o período de avaliação, sendo somente retirada para operações agrícolas.

As dimensões da base devem ser compatíveis com o espaçamento da cultura avaliada, permitindo que toda a largura da entrelinha de plantio seja coberta. Se a cultura for semeada a lanço, considerar uma área mínima de 0,2 m<sup>2</sup>, independentemente da forma da base. Bases cilíndricas devem ter diâmetro superior a 30 cm, ou razão área (cm<sup>2</sup>)/perímetro (cm) superior a 10 (ROCHETTE; ERIKSEN-HIMEL, 2008).

O topo da câmara é um dispositivo que cobre a área do solo delimitada pela base, contendo na sua estrutura: termômetro, ventiladores e válvula de amostragem.

A altura do topo da câmara deverá ser compatível com a cultura existente. Se for necessário incluir a planta dentro da câmara, deve-se utilizar extensores individuais ou topos com alturas maiores (Figura 2). Em culturas agrícolas ou pastagem, exceto nas coletas após adubação ou na aplicação de excretas de animais, os fluxos de GEEs geralmente são baixos e, neste caso, o uso de câmaras muito altas dificultará a detecção do incremento da concentração de gás no interior da câmara.



**Figura 2.** Esquema de base e topo da câmara com o uso do extensor, para o caso de plantas de porte mais alto que estiverem no interior da câmara.

O topo da câmara deve possuir um orifício, onde deve ser adaptada uma válvula com saída “*luer lock*” do tipo três vias para conectar as seringas e retirar amostras de ar. É importante que a posição do orifício seja a mesma para cada conjunto de câmaras.

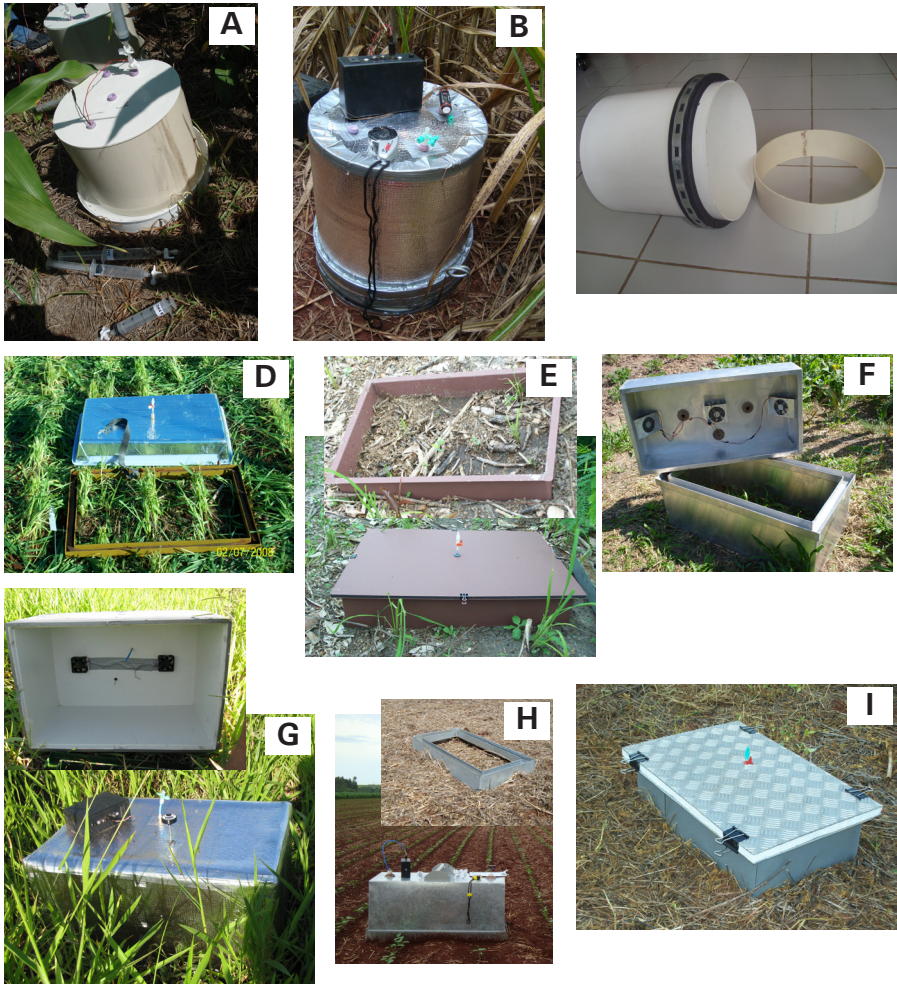
A vedação do corpo à base da câmara deve ser a mais perfeita possível, podendo ser feita com borracha macia ou água, evitando que a água transborde para o interior da base (pode causar aumento do fluxo, por causa da expulsão do ar do solo, ou por causa do aumento da atividade microbiana). Se o terreno for inclinado, a altura da base deverá ser suficiente para que haja nivelamento entre a base e o solo para colocação de água. No caso de dificuldades no uso de câmaras com vedação com água, principalmente em paisagens com relevo ondulado, recomenda-se o uso dos sistemas de coleta com vedação de borracha.

O corpo da câmara deverá ser coberto por isolante térmico, para evitar grandes diferenças de temperatura interna e externa. Para esse propósito, materiais que trazem bons resultados são combinações de isopor, espuma expansiva, cortiça ou manta aluminizada.

## **2.1. Construção da câmara**

### **2.1.1. Escolha do tipo de câmara**

As câmaras podem ser de formatos variados e construídas com diversos tipos de materiais, desde que não reativos (Figura 3). A definição do formato da câmara e do material a ser utilizado na sua confecção geralmente estão associados, pois procura-se adaptar materiais industrializados para facilitar a confecção, o manuseio no campo, baratear os custos e, ao mesmo tempo, atender às especificações técnicas. Materiais baratos possibilitam o aumento do número de repetições no campo. Por outro lado, câmaras muito pesadas dificultam o manuseio no campo e, considerando a frequência de amostragem, necessitam de equipes com grande número de pessoas para a execução das medidas.



**Figura 3.** Tipos de câmaras e materiais disponíveis para a confecção. A = formato cilíndrico, com base em aço galvanizado e topo de PVC; B = formato cilíndrico, com base em aço galvanizado e topo de poliuretano recoberto com manta térmica; C = formato cilíndrico, com base e topo de PVC; D = formato retangular base em aço galvanizado e topo em polietileno; E = formato quadrado com base e topo em aço galvanizado; F = formato retangular com base e topo em alumínio; G = formato retangular base em aço galvanizado e topo em polipropileno recoberto com manta térmica; H = formato retangular base e topo em aço galvanizado e I = formato retangular base em aço galvanizado e topo em polietileno. Fotos: Josiléia Acordi Zanatta (A, B e H), Falberni de Souza Costa (C), Bruno José Rodrigues Alves (D, E, e I), Cimélio Bayer (F), Michely Tomazi (G).



Alguns exemplos de materiais utilizados para construir topos de câmaras estáticas são bandejas frigoríficas de polietileno, caixas de polipropileno, tubos de PVC, cubas alimentares em aço-inoxidável e acrílicos. Outros materiais também podem ser empregados, como alumínio e aço galvanizado, mas geralmente precisam de serviços especializados de serralheria.

Em relação aos materiais disponíveis para confeccionar os topos das câmaras, pode-se dizer que PVC, polietileno e polipropileno são mais leves quando comparados com aço galvanizado, facilitando, assim, o manuseio no campo. Todavia, quanto à durabilidade do material, o tempo de vida útil deve ser menor. As câmaras com topo de alumínio também são leves e fáceis de manusear, assim como as de PVC e outras, mas têm o inconveniente de terem maior custo.

Para as bases, geralmente os materiais mais comuns são aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio e PCV. O custo de cada material varia com o tamanho da base, mas geralmente as bases de alumínio e aço inoxidável têm custo maior do que as de aço galvanizado e estas, por sua vez, têm custo maior do que as de PVC. Porém, as bases de PVC com diâmetro superior a 25 cm têm também custo relativamente alto, e as de alumínio têm baixa resistência para fixação em solos. Recomenda-se para bases de aço metálico, chapas galvanizadas de, no mínimo, 2,5 mm de espessura. O processo de galvanização, posterior a soldagem das partes, garante melhor revestimento, o que prolonga a vida útil da base no campo.

Em relação às bases de PVC, geralmente após o corte na medida ideal de altura da base há necessidade de chanfrar uma das bordas para facilitar a inserção no solo (detalhe da Figura 3D).

A seguir são descritos os passos básicos para a construção de modelo genérico de câmara de coleta, sendo que as recomendações podem ser adaptadas para os materiais adotados, de acordo com as necessidades de cada ambiente. Porém, detalhes específicos da confecção dos modelos de base retangular e cilíndrica são fornecidos nos anexos 1 e 2, respectivamente. A lista de peças necessárias para cada modelo, bem como orçamentos estimados das peças estão descritos nos anexos de 3 a 6.

### **2.1.2. Montagem da câmara de coleta**

Os passos descritos a seguir descrevem a montagem de uma câmara genérica, podendo ser adotados para qualquer modelo de câmara de coleta de GEE.

**Passo 1: confecção da base** - a construção da base deve ser realizada por serralheiro, atentando para as medidas do topo da câmara e da canaleta para ajustar uma parte à outra. Dois aspectos da base devem ser observados cuidadosamente: a altura da canaleta não deve ser superior a 5 cm, para não impedir a circulação de ar ou permitir acúmulo de água na área interna da base. Caso se perceba alguma alteração como as descritas acima, a base deve ser ajustada e realocada na parcela.

A largura da canaleta deve ser suficiente para receber a borda inferior do topo da câmara no momento da coleta, sendo necessário o estabelecimento de um sistema fechado. Quando há borracha na borda inferior do topo da câmara, as medidas da canaleta e borracha devem ser compatíveis. Alguns exemplos de câmaras que empregam este tipo de sistema de vedação podem ser observados nas Figuras 3B e 3C, onde o contato justo da borda inferior da câmara feito através da borracha e a base mantém o sistema fechado. Neste caso, a câmara da Figura 3B tem uma canaleta onde o topo (com borracha tipo tarugo) é acoplado, enquanto a câmara da Figura 3C, a base de PVC é encaixada na borracha do topo.

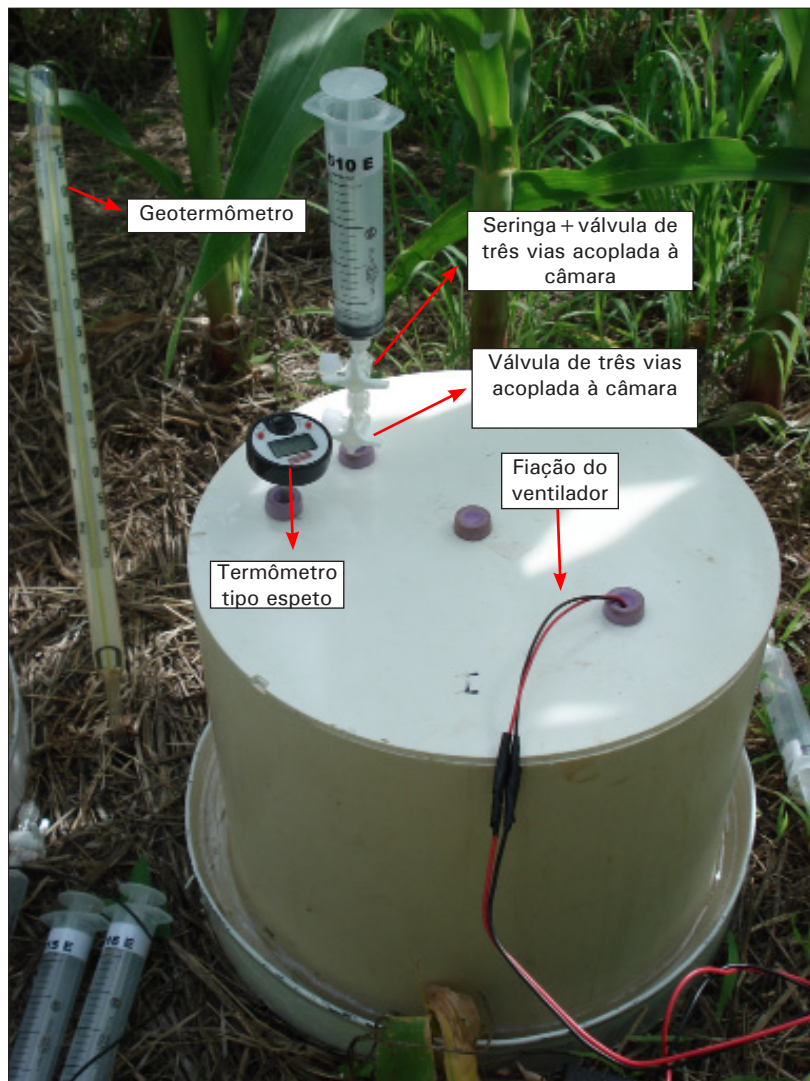
Quando a opção for vedar o sistema com água, deve-se ter especial cuidado com o local de instalação das bases. Para o uso de água na vedação, o terreno não pode ter declive acentuado e a logística de carregar água aos locais de coleta deve ser considerada. Neste caso, deve-se realizar um teste prévio para definir o volume de água a ser colocado na canaleta, para que não ocasione o transbordamento interno da água no momento do fechamento da câmara, pois isso alteraria a umidade do solo, o que poderia influenciar nas taxas de emissão dos GEE. Quanto menor a espessura da borda da câmara, menor pode ser a largura da canaleta, utilizando assim menos água.

Uma outra opção de vedação topo/base é apresentada na Figura 3E e 3F. A vedação entre o ambiente interno e externo da câmara é feita por grampos de pressão, sendo necessário adaptar uma borracha na borda superior da base.

Os desenhos esquemáticos dos modelos de base cilíndrica e de base retangular podem ser obtidos nos anexos 7 e 8.

**Passo 2: instalação de termômetros, ventiladores e válvulas de coleta no topo da câmara** - na parte superior da câmara devem ser feitos orifícios, para acoplar a válvula de coleta, os fios do ventilador e termômetro (Figura 4).

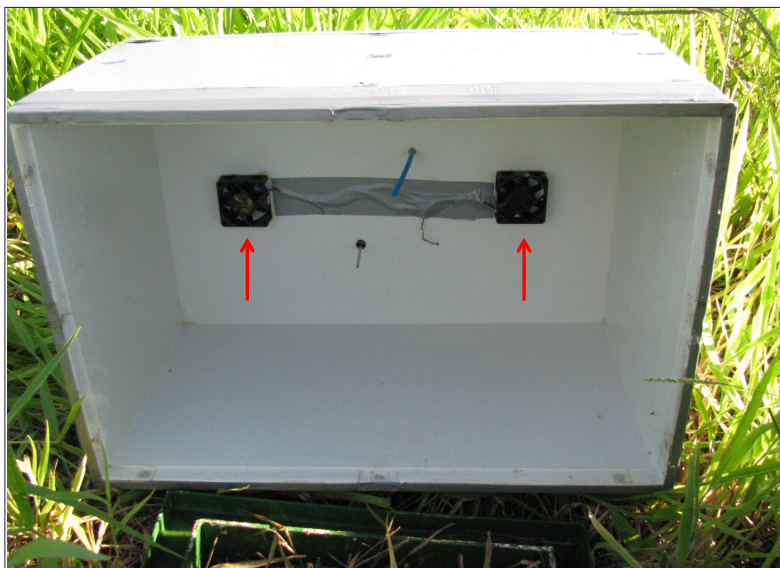
Foto: Josiléia Acordi Zanatta



**Figura 4.** Câmara de coleta de GEE, ilustrando detalhes das peças acopladas na parte superior da câmara.

Na parte interna da câmara, deve-se colar os ventiladores (12 V, tipo *cooler* de computador). Para câmaras retangulares, recomenda-se dois ventiladores afixados em posições opostas (Figura 5), enquanto para circulares com 30 cm, recomenda-se um ventilador centralizado. Internamente, os fios dos ventiladores podem ser fixados no topo com a fita (Figura 5). Para o funcionamento dos ventiladores, sua fiação original deve ser prolongada e passada por septo de borracha, ou outro sistema de vedação, tendo conexões RCA macho na extremidade para conexão à bateria externa.

Foto: Michely Tomazi



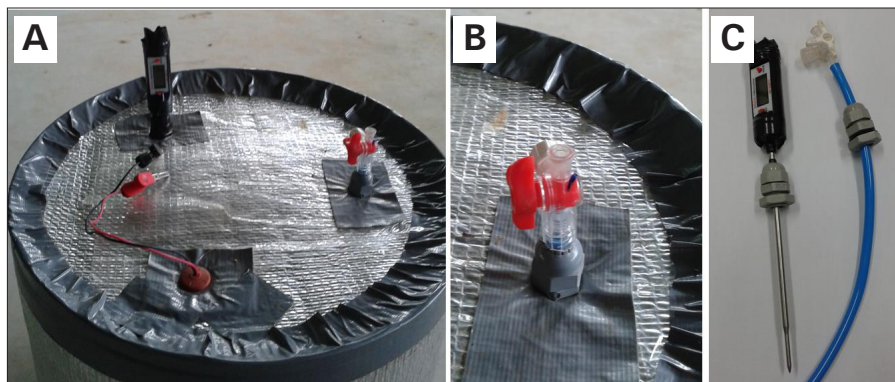
**Figura 5.** Câmara tipo retangular, ilustrando o posicionamento dos ventiladores na parte interna do topo.

Para o acionamento dos ventiladores, é necessário uma bateria externa, que deverá ser transportada pelo coletor a cada câmara durante a coleta. A instalação da bateria para acionamento dos ventiladores, bem como o orçamento estimado das peças podem ser verificadas nos anexos 9 e 10. Todavia, no anexo 11, um modelo simplificado de conexão ventilador-bateria pode ser visualizado. Este modelo elimina a necessidade de construir o sistema de bateria, conforme indicado no anexo 9, mas tem o inconveniente de atender um ventilador por vez.

O termômetro tipo espeto deve ser adaptado ao septo de borracha justamente (Figura 4). O orifício no septo de borracha pode ser feito com um objeto pontiagudo ou broca fina (3 mm) com furadeira. Não se recomenda realizar o orifício diretamente com o termômetro, para evitar forçar a peça e causar danos ao equipamento.

A válvula de três vias deve ser adaptada ao septo de borracha. Quando a altura da câmara for maior que 20 cm, deve-se adaptar à válvula uma tubulação extensora, para que a retirada da amostra seja efetuada na posição central da câmara, aproximadamente 10-15 cm acima do nível do solo.

A adaptação dos itens acima (ventilador, termômetro e válvula) no topo da câmara, realizada por septo de borracha, é a forma mais fácil e barata de acoplamento. Todavia, outros mecanismos de adaptação podem ser utilizados, como conexões retas e prensa cabos (Figura 6), porém de maior custo.



**Figura 6.** Topo da câmara de coleta (A), com presença de conector prensa cabo para válvula de coleta de amostras de ar (B, C) e termômetro (C).

**Passo 3: Recobrimento da câmara e sistema de vedação** - alguns tipos de materiais utilizados para a construção das câmaras aquecem-nas internamente acima da temperatura ambiente, acarretando alterações na quantificação da emissão dos GEE emitidos a partir do solo. Portanto, recomenda-se que materiais como polietileno e polipropileno sejam recobertos com mantas térmicas, para evitar aquecimento excessivo. As câmaras de aço galvanizado ou alumínio podem ser internamente revestidas com espuma expansiva ou isopor, sendo este trabalho combinado com o serralheiro. Contudo, o uso de manta térmica para câmaras de polietileno ou polipropileno tem sido eficiente.

Para o uso da manta térmica, inicialmente deve-se recobrir o topo inteiramente (ver exemplos nas Figura 3B e 3G). Na parte superior, fazer a abertura dos orifícios na manta térmica com broca e recobrir com fita, para evitar rasgar a manta.

Neste momento, se a opção do sistema for a vedação com borracha, esta deverá ser colada à borracha na borda inferior da câmara. Alguns sistemas preveem a instalação da borracha na canaleta da base, e a câmara é posteriormente pressionada contra a borracha por meio de cinta elástica que passa sobre a câmara.



### 3. Realizando as coletas de ar

#### 3.1. Tempos de incubação durante a coleta

Recomenda-se a adoção de no mínimo três tempos de coleta. Se for viável, deve-se aumentar o número de tempos de coleta durante a incubação para quatro ou mais e, entre esses, obrigatoriamente, que a primeira amostragem seja a do tempo zero (inicial). Recomenda-se que o tempo final seja maior que 40 minutos, mas não superior a 120 minutos (SERTA, 2013). Para melhor definição do tempo final, deve-se verificar a linearidade nas concentrações dos gases nos diferentes tempos amostrados e realizar ajustes caso seja necessário. Caso, a concentração do tempo final seja linear em relação aos tempos anteriores, isto indica que não está ocorrendo efeito supressivo do aumento da concentração do gás no interior da câmara sobre a difusão do gás do interior do solo. O tempo total da incubação deve ser o menor possível, desde que suficiente para que seja observado acúmulo ou redução (no caso de  $\text{CH}_4$ ) de gás no interior da câmara. Os tempos dependerão da relação volume/área da câmara, solo, tratamento, limite de detecção do cromatógrafo e da concentração dos padrões dos gases. Rochette e Eriksen-Himel (2008) recomendam que, para uma câmara com 40 cm de altura, o tempo de incubação deve ser de 1 h (ex. para uma coleta de 20 minutos, a câmara deverá ter, pelo menos, 13 cm de altura).

De maneira geral, recomenda-se que os tempos de coleta 0, 15, 30 e 45 minutos, após o fechamento da câmara, são adequados para a maioria das situações. Em algumas situações em que coletar 4 tempos resulte em excessivo número de amostras para análise, pode-se optar por coletar em apenas três tempos, por exemplo, 0, 30 e 45 ou 60 minutos, ou 0, 20 e 40 minutos.

Algumas particularidades dos tratamentos podem exigir ajustes nos intervalos de coleta, bem como no tempo final, reduzindo os intervalos e o tempo final quando houver alta



emissão e ampliando-os em casos de baixa emissão. Se houver possibilidade, pode-se fazer um teste prévio, antes da instalação do experimento, coletando-se vários tempos na mesma câmara (ex. 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60) e definir melhor quais intervalos são mais adequados. Contudo, a aplicação de práticas como adubação podem alterar estes intervalos e exigir novo ajuste temporário. É essencial que os tempos de coleta sejam monitorados e as concentrações auditadas, para que sejam então consideradas no cálculo das emissões.

Para o controle dos tempos de coleta é necessário que cada pessoa no campo disponha de cronômetro e esteja familiarizado com o uso deste equipamento.

### **3.2. Horário da coleta**

A princípio, o horário das amostragens deverá ser entre 8 h e 10 h da manhã. Se for possível, realizar avaliações prévias para realizar a curva diária de emissão em cada local. Este procedimento embasará a determinação do horário do dia que representa a média diária de emissão daquele local. A curva diária de emissão deverá considerar vários dias em intervalos de 2 a 3 horas. O horário recomendado para a coleta será aquele que mais se aproxima da emissão média do dia, calculada a partir da curva diária de emissão. As curvas diárias de emissão devem ser feitas nas diferentes estações do ano (inverno e verão no Sul do Brasil; estação seca e estação chuvosa no Cerrado). Maiores detalhes deste procedimento podem ser obtidos em Jantalia et al. (2008) e Costa et al. (2008).

### 3.3. Preparativos para a coleta

Antes de iniciar a coleta propriamente dita, é ideal que se faça um “*check list*” dos itens necessários:

- câmara de coleta sem vazamentos e com termômetros e ventiladores em perfeito funcionamento;
- seringas (em número adequado e devidamente identificadas) e/ou bomba manual de vácuo;
- caixa térmica;
- bolsa gel térmica congelada;
- prancheta, lápis e planilhas para anotar dados de campo;
- bateria;
- cronômetro;
- trena ou régua;
- frascos de armazenamento de amostras (previamente evacuados).

Como as coletas geralmente ocorrem pela manhã, recomenda-se ter os materiais necessários organizados no dia anterior. Para o andamento dos estudos, é importante revisar as câmaras com antecedência e fazer reparos necessários, como, por exemplo, a substituição da bateria dos termômetros, o funcionamento dos cronômetros e dos ventiladores, bem como revisar a carga nas baterias.

No campo, atentar para que, enquanto se aguarda o início da amostragem, não deixar a câmara fechada ou voltada para o chão, evitando também que o sol incida diretamente no interior da câmara, aquecendo a haste do termômetro. Estes cuidados evitarão acúmulo de GEE no interior da câmara e também que a temperatura inicial da câmara seja demasiadamente elevada, simulando condição não real.

Evitar também deixar as seringas e/ou frascos expostos ao sol no momento da coleta. De preferência, mantê-los em caixas térmicas e apenas retirar no momento da amostragem.

Antes de iniciar a amostragem, conferir as seringas e registrar na planilha as informações exigidas (data, coletor, condições meteorológicas, tratamento, repetição, número das seringas, vials, etc.).

### **3.4. Amostragem do ar com seringas**

**Passo 1:** ligar o termômetro e abrir o septo de liberação da pressão interna ou a válvula de amostragem (depende da opção adotada para a confecção da câmara).

**Passo 2:** posicionar com cuidado o topo da câmara sobre a base instalada no solo. Certificar-se que o sistema está bem ajustado (se usar água para vedar, esta não deve transbordar para o interior da câmara e deverá ser colocada antes da execução do passo 1). Fechar imediatamente o septo ou a válvula de três vias, que estava aberto para a saída da pressão interna e acionar o cronômetro.

**Passo 3:** na sequência, conectar a seringa 1 à válvula de três vias e retirar uma amostra de ar do interior da câmara (tempo zero), bombeando 3-5 vezes com o êmbolo e fechando a seringa cheia após a última bombeada. Retirar a seringa e guardá-la na caixa térmica que contém a bolsa gel congelada.

**Passo 4:** anotar a temperatura do interior da câmara referente ao tempo zero da amostragem ( $t_0$ ) na planilha. Qualquer outra observação que julgar importante deve também ser anotada na planilha.

**Passo 5:** aguardar o intervalo necessário para coletar o tempo 2 (tempo cronômetro = 15 minutos). Ligar o ventilador 30 segundos antes da coleta. No momento da coleta, desligar o ventilador e proceder à coleta da amostra de ar, conforme passos 3 e 4.

**Passo 6:** aguardar o intervalo necessário para coletar o tempo 3 (tempo cronômetro = 30 minutos). Repetir o passo 5.

**Passo 7:** aguardar o intervalo necessário para coletar o tempo 4 (tempo cronômetro = 45 minutos). Repetir o passo 5.

**Passo 8:** ao final da coleta, para retirar a câmara da base, abrir a válvula de coleta e recolher a câmara e demais materiais (amostras e acessórios). A abertura da válvula evita que a pressão interna dificulte a retirada da câmara presa à base.

Quando for o caso de transferir as amostras de ar das seringas para os frascos evacuados, este procedimento pode ser realizado imediatamente após a coleta da amostra no campo, ao final da amostragem diária ou ainda no laboratório, quando o laboratório não for demasiadamente longe do campo experimental.

Na prática, uma pessoa pode coletar as amostras de mais de uma câmara, desde que o material de cada câmara já esteja devidamente distribuído nos locais. Neste caso, a dinâmica de coleta pode ser assim descrita: o coletor inicia na câmara 1, acionando o cronômetro e coletando a amostras de ar do tempo zero ( $t_0$ ). Aos 5 minutos do cronômetro a mesma pessoa deverá estar com tudo pronto para coletar o  $t_0$  da câmara 2 e em 10 minutos o  $t_0$  da câmara 3. No tempo 14'30" do cronômetro, o coletor deverá ligar o ventilador da câmara 1, por 30 segundos. Aos 15 minutos, desliga-se o ventilador e imediatamente obtém-se a amostra de ar do tempo 15 minutos ( $t_{15}$ ) da câmara 1. Continuar até o final dos tempos de coleta de cada câmara. Atentar que o cronômetro somente é acionado uma única vez, no início da coleta. Todos os demais tempos são controlados pelo tempo inicial. Desde que as câmaras não estejam posicionadas muito longe uma da outra, um coletor poderá obter amostras em 3 câmaras com intervalos de 5 minutos (como exemplificado acima) ou em mais câmaras em intervalos menores de tempo.

### 3.5. Coleta com sistema de bomba manual de vácuo

A coleta das amostras com bomba manual de vácuo exige a adaptação do sistema para acoplar agulha e frasco de amostragem. A coleta propriamente dita é semelhante ao processo descrito anteriormente, exceto pelo uso da bomba e frasco, em substituição à seringa para retirar a amostra de ar. Neste caso, a agulha fica acoplada ao frasco de coleta, não sendo possível visualizá-la (Figura 7).

Foto: Bruno José Rodrigues Alves



Figura 7. Equipamento de coleta de amostras de ar com bomba de vácuo manual.

A bomba de vácuo é utilizada em três momentos em cada tempo de coleta: limpeza do frasco, evacuação e amostragem. As etapas de limpeza e evacuação devem ser previamente realizadas para que no momento das coletas (por exemplo 0, 15, 30 minutos) o frasco esteja pronto para uso. As funções de limpeza, vácuo e amostragem são selecionadas através de uma válvula de multiposição instalada entre a bomba e o frasco, conectando-se também ao tubo que conecta com o interior da câmara.

No campo, dispondo de todos os equipamentos necessários, os passos da coleta são descritos a seguir. Os procedimentos prévios de preparo do material e do fechamento da câmara são similares aos anteriormente mencionados para amostragem com seringa.

**Passo 1:** posicionar a válvula multiposição interligando o frasco e a bomba e evacuar o frasco. Em seguida, posicionar a válvula para permitir entrada de ar no frasco a partir da câmara. Descartar a amostra, que servirá apenas para limpeza do frasco.

**Passo 2:** repetir o passo 1, mas ao invés de descartar a amostra, esta deve ser armazenada. Fechar a válvula da câmara e retirar o frasco com a amostra do sistema.

**Passo 5:** reservar o frasco em local protegido do calor.

**Passo 6:** aguardar o intervalo necessário para coletar o tempo 2 (tempo cronômetro = 15 min). Ligar o ventilador 30 segundos antes do tempo de coleta. No momento da coleta, desligar o ventilador e proceder à coleta da amostra de ar, idem passos 1 e 2.

**Passo 7:** aguardar o tempo de coleta seguinte e repetir os procedimentos de coleta.

Anteriormente à utilização dos frascos, deve-se testar para saber o tempo necessário para que este seja preenchido com ar, o que vai depender do tamanho do frasco e da espessura da agulha. Para isto, pode-se pesar alguns frascos, evacuá-los e pesar novamente, para obter a diferença de peso do ar retirado e, em seguida, perfurá-los com agulha e permitindo entrada de ar em diferentes tempos (ex. 10, 20, 30). Ao final, afere-se o peso dos frascos de cada tempo, e obtém-se o tempo a partir do qual não há mais variação de peso do frasco. Para agulhas de 0,45 mm e um frasco de 12 mL, 20 são suficientes. O ideal é que os frascos sejam para uso direto no cromatógrafo, por injetor automático.

A vantagem desta técnica de amostragem é a imediata transferência da amostra para frascos de análise (vials), reduzindo esta atividade. Também, a realização da limpeza, vácuo e da coleta da amostra numa única operação evita perfurar o septo do frasco inúmeras vezes, o que aumenta a vida útil do material.

A desvantagem é que a operação exige maior atenção do operador, bem como esforço repetitivo na execução da rotina de coleta.

## 4. Transporte e armazenamento das amostras

As informações deste item estão relacionadas com o tipo de coleta efetuado anteriormente. No caso de coletas em frascos diretamente via bomba de vácuo manual, observar apenas os procedimentos de armazenamento das amostras.

Os procedimentos de transporte e armazenamento das amostras dependerão do tempo decorrido entre a coleta e a análise efetiva e, também, do cromatógrafo gasoso disponível. Quando o cromatógrafo não dispor de injetor automático e o tempo de espera entre a coleta e a análise for inferior a 8 horas (coleta até análise), as amostras podem ser transportadas e armazenadas nas próprias seringas, desde que estas sejam acondicionadas em recipientes resfriados (isopor com gel térmico ou refrigerador).

Para períodos de armazenamento superiores a 8 horas recomenda-se transferir a amostra para os frascos evacuados (80 KPa) sob pressão, sendo que para cromatógrafos com amostrador automático, pode haver necessidade de usar lacres magnéticos (Figura 8) para selar os frascos (depende do modelo do amostrador automático). O tempo de armazenamento nos frascos irá depender da qualidade do septo. Se as análises não puderem ser realizadas em até dois dias após a amostragem, os frascos podem ser colocados até a análise com a boca para baixo, em recipiente com água. O armazenamento da amostra sob pressão evita possível entrada de ar externo em caso de manter uma pressão negativa.



Foto: Josiléia Acordi Zanatta



**Figura 8.** Frasco de coleta de amostras de ar com lacre magnético (A) e detalhe do septo de butil (B).

A inserção da amostra no frasco deve ser realizada com a própria seringa da coleta e agulha fina (0,45 mm x 13 mm). Para cromatógrafos onde a injeção da amostra é manual, a retirada da amostra do frasco deverá ser realizada também com seringa e agulha. Para aqueles com injetor automático, o frasco a ser adotado deverá ser compatível com o auto-amostrador.

A lista de produtos que podem ser considerados na escolha dos frascos para armazenamento e transporte de amostras são apresentadas no anexo 12. As informações foram obtidas dos sites de seus fornecedores. Chama-se atenção para alguns estudos no Brasil e também da rede americana GRACENET<sup>1</sup> com diferentes tipos de frascos para armazenamento de amostras que concluiu haver grande variação nos materiais disponíveis, inclusive entre lotes da mesma marca, recomendando-se aos usuários que: a) conferir a cada uso o peso de vácuo dos frascos comparando entre o dia do vácuo e o dia da coleta; não utilizar frascos que não mantém vácuo. b) substituir o septo após 6-9 perfurações, ou basear em testes prévios; c) a cada lote novo de

<sup>1</sup>Rede de pesquisa America iniciada pelo USDA-ARS: *Greenhouse gas Reduction through Agricultural Carbon Enhancement network*.

frascos e septos adquiridos, executar os testes com injeção de concentrações de GEE conhecidos e verificar a manutenção dos valores ao longo do tempo.

## 5. Análise cromatográfica

As amostras devem ser analisadas tão breve quanto possível em relação à coleta. A análise da concentração dos GEE será procedida em cromatógrafo gasoso. O método e, por consequência, o tempo de duração da análise variará conforme o equipamento disponível. Quanto ao tipo de injeção da amostra no equipamento, recomenda-se para os de injeção manual que seja adaptada uma válvula de injeção com loop de amostragem, para melhorar a precisão analítica. É recomendado que se adote uma estratégia de análise fixa e consolidada em relação à sequência de análise para os tempos de coleta e repetições. Parkin e Venterea (2010) sugerem que as amostras sejam analisadas na sequência dos tempos de coleta dentro de cada câmara ( $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ ) em detrimento da segregação por tempo de coleta. A análise na ordem dos blocos de campo também ajuda a evitar erros.

Com relação aos padrões analíticos, as curvas de calibração devem ser realizadas em intervalos regulares durante as análises, sendo recomendado pelo menos uma vez por dia, ao iniciar as atividades. Eventualmente, quando qualquer configuração de análise do equipamento for alterada, recomenda-se realizar a calibração novamente. Durante as análises das amostras recomenda-se que periodicamente (por exemplo, a cada 20 amostras) seja inserida uma amostra de padrão, para confirmar a precisão das análises. Para a curva de calibração, recomenda-se de 3 a 4 pontos.

Dentro da rede de pesquisa é importante fazer um controle de qualidade dos padrões adotados nos diferentes locais de análise.

Sugere-se que um dos locais seja responsável pela análise dos padrões da rede de pesquisa e que neste local seja feita a conferência dos padrões analíticos. Neste caso, os padrões utilizados no laboratório responsável devem ser auditados por empresa certificada.

Os resultados do cromatógrafo deverão ser impressos com a correta identificação dos tratamentos, datas, locais, tempos de coleta, etc. e arquivados em local adequado. Uma cópia digital de segurança deverá ser realizada frequentemente.

## **6. Cálculos dos fluxos de GEE**

A concentração dos GEE na amostra de ar obtida da câmara é calculada com a aplicação da curva analítica, que relaciona as áreas dos picos de gás padrão, obtida do cromatógrafo, e as concentrações dos padrões. A transformação das áreas e concentrações em logaritmo pode ser interessante para se obter uma curva analítica mais significativa. Alguns cromatógrafos exibem o resultado final automaticamente em concentração.

De posse dos resultados, que podem ser importados da planilha de resultados do cromatógrafo, deve-se proceder aos cálculos dos fluxos (emissão ou consumo). Inicialmente, com a concentração das amostras retiradas das câmaras, calcula-se a taxa de incremento do gás no tempo, considerando-se o modelo de ajuste linear. Existem modelos de ajustes não lineares, que, as vezes, podem representar melhor a variação da concentração do gás na câmara, mas nem sempre são facilmente utilizados. Por isso, o modelo linear é o mais utilizado, desde que o incremento do gás na câmara tenha ajuste linear. Para o uso de outros modelos, consultar Parkin e Venterea (2010).

Após a obtenção do melhor ajuste no incremento do gás dentro da câmara, o fluxo pode ser obtido da seguinte forma:

$$\text{Fluxo } (\mu\text{g N ou C m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = (dC/dt \text{ ou } DN/Dt) \cdot V/A \cdot (m/V_m)$$

Onde: DC/Dt ou DN/Dt representam a taxa de variação do gás dentro da câmara por unidade de tempo (ppm/hora); m é o peso molecular (g); V e A são volume (L) e área da câmara (m<sup>2</sup>), respectivamente; V<sub>m</sub> é o volume molecular do gás também em L, precisando-se corrigir em função da temperatura no interior da câmara durante a amostragem (1 mol de gás ocupa 22,4 L nas condições normais de temperatura e pressão - CNTP), bastando multiplicar 22,4 por (273 + T)/273, sendo T a temperatura média interior da câmara em graus celcius.

Outra forma de obter a taxa de emissão de GEE é pela Lei de Gases ideais (PV = nRT), cujos detalhes do seu emprego estão descritos em Parkin & Venterea (2010). Independente do método de cálculo adotado, os valores de fluxo são semelhantes.

Todas essas operações podem ser automatizadas em planilha eletrônica, mas não desobriga uma avaliação cuidadosa de cada resultado analítico coletado, bem como daqueles calculados.

A obtenção do fluxo acumulado anual ou por período de tempo predefinido deve ser realizada considerando o intervalo de tempo real entre as coletas, geralmente, utilizando técnicas trigonométricas, automatizadas em programas computacionais.

## 7. Planilhas recomendadas

Nos anexos foram disponibilizados alguns modelos de planilhas que podem ser adotados pelas equipes para as coletas de campo, para os cálculos, e para abastecimento do banco de dados, contendo informações mínimas essenciais a serem coletadas (Anexos 13 a19). Outras informações podem ser agregadas a cada tipo de planilha, dependendo das particularidades do sistema e dos tratamentos a serem avaliados.

Recomenda-se armazenar as planilhas de campo até a consolidação dos resultados, ou seja, a publicação efetiva. Para as planilhas de cálculo, sugere-se adotar uma única planilha eletrônica de cálculo, inserindo uma coluna para as datas de coletas e não uma planilha para cada data. Futuramente, o procedimento facilitará o processamento dos resultados na função tabela dinâmica.

## **8. Sistema semiautomático de vácuo dos frascos e limpeza das seringas**

O sistema de vácuo semiautomático destina-se a equipes que trabalham com grande número de amostras. Apesar de ser possível executar o vácuo com a bomba manual, quando tem-se elevado número de frascos é recomendável optar por sistemas mais eficientes.

Além da agilidade no processo, o sistema permite uma padronização do vácuo no interior dos frascos, evitando diferenças de diluição entre as amostras. A limpeza e evacuação são realizados em uma única perfuração, o que aumenta a vida útil do septo. No caso de reutilizar os septos, não é necessário removê-los para a limpeza.

O sistema é composto, basicamente, por duas vias de fluxo (Figuras 9A e 9B): pressão de vácuo da bomba e gás nitrogênio para limpeza do frasco. Caso esteja disponível, pode-se utilizar um vacuômetro para aferição do vácuo na rede durante a operação.



**Figura 9.** Sistema de vácuo semiautomático com controle de pressão por manômetro digital (A e B) para realização de limpeza de seringas (C) e limpeza e vácuo de frascos de transporte e armazenamento de amostras de ar (D).

Com o sistema instalado, os passos para limpeza e vácuo dos frascos são descritos a seguir:

**Passo 1:** acoplar os frascos às agulhas do suporte para frascos (Figura 9D).

**Passo 2:** posicionar as válvulas de modo a permitir o fluxo “frasco – vácuo”, aguardar o tempo necessário para total evacuação do frasco, o qual deve ser previamente determinado por teste específico para cada tipo de frasco ou medido com manômetro previamente zerado na rede de vácuo.

**Passo 3:** posicionar as válvulas para o fluxo " $N_2$  – frasco", aguardar o tempo necessário para preencher o frasco com gás.

**Passo 4:** repetir os passos 2 e 3 por 2 vezes, e em seguida o passo 2 novamente, para manter o frasco sob vácuo. Ainda sem fechar o fluxo "frasco – vácuo", retirar os frascos da agulha, tomando o cuidado de todos saírem ao mesmo tempo para evitar trocas de ar.

Recomenda-se, para controle tanto da eficiência do processo de evacuação como no armazenamento dos frascos com vácuo, uma aferição do vácuo. Para aferir a operação de evacuação, pode-se aferir o peso dos frascos antes e logo após o vácuo, obtendo-se a massa de ar retirada do interior dos frascos. O ideal é que o coeficiente de variação desta massa de ar não ultrapasse 5% entre os frascos. Novas medidas de peso podem ser feitas, após algumas horas ou dias, para verificar se o vácuo inicial ainda permanece.

O mesmo sistema pode ser utilizado para limpeza das seringas. Neste caso, pode-se utilizar a mesma via de fluxo dos frascos, apenas desconectando o tubo do suporte para os frascos e acoplando o tubo do suporte para as seringas. Os passos para realização da limpeza são:

**Passo 1:** acoplar as válvulas de cada seringa aos conectores disponíveis no suporte das seringas, mantendo a válvula da seringa de modo a permitir entrada e saída de ar (Figura 9C).

**Passo 2:** posicionar as válvulas para o fluxo " $N_2$  – seringa" para encher a seringa de nitrogênio (o embolo será empurrado pelo gás). Deve-se cuidar para manter o cilindro de  $N_2$  aberto numa pressão tal que permita empurrar o embolo da seringa, sem que este saia da mesma. Após ajustada a pressão, o cilindro permanece aberto até o final da limpeza de todas as seringas, regulando a saída do gás pelas válvulas do sistema.

**Passo 3:** posicionar as válvulas de modo a permitir o fluxo “seringa – vácuo”, esvaziando as seringas.

**Passo 4:** repetir os passos 2 e 3 por 2 vezes, desacoplar as seringas do sistema e armazená-las para a coleta.

## **9. Monitoramento dos fluxos de GEE do solo**

A avaliação de GEE consiste no monitoramento frequente dos gases liberados do solo, seja ele conduzido em sistema exclusivamente agrícola, pecuário, florestal ou integrado. A medida de gases liberados ou consumidos por uma determinada área de solo na unidade de tempo será denominada de emissão ou consumo, respectivamente, sendo também denominada fluxo ou taxa. Atenção especial deve ser dada à frequência das avaliações, considerando as estações do ano e as práticas de manejo, que sabidamente afetam as emissões (preparo do solo, correção, fertilização, drenagem, etc.).

O monitoramento anual de um determinado sistema de produção caracterizará o efeito do manejo dos fatores de produção e da variabilidade estacional, permitindo avaliação dos fluxos acumulados totais e/ou individuais por períodos.

### **9.1. Instalando as bases no campo**

A base deve ser instalada no solo e mantida durante todo o período de avaliação ou instalada antes de cada avaliação. Em situações onde não é possível manter as bases no campo, a instalação deverá ocorrer em cada avaliação, sendo recomendado, entretanto, que seja realizada no mínimo 24 horas antes da coleta.

Para a instalação das bases no solo, deve-se utilizar uma tábua para distribuir a pressão da marreta ou martelo, evitando danos ao material (Figura 10A).





**Figura 10.** Indicação de forma de instalação das bases no campo (A) e posicionamento de passarela de apoio próximo às bases (B) para evitar alterações do ambiente ao redor das câmaras de coleta.

Com o passar do tempo e muitas coletas, ao redor da base ficará um local alterado pelo andar do coletor, principalmente em solos com densidade mais baixa. Para evitar esta alteração, recomenda-se dispor tábuas para que o coletor se posicione sobre estas durante as coletas e evite alterar o ambiente ao redor (Figura 10B). Pode-se posicionar tijolos sob a tábua, o que reduz ainda mais a área afetada.

Em piquetes com animais, quando a opção for manter a base no campo, inclusive a canaleta da base deve ficar enterrada, para evitar que os animais pisem e causem danos aos materiais ou que causem alteração no comportamento do animal em relação ao local avaliado. Outra opção neste caso, é fixar as bases antes da coleta e proteger com gaiolas de tela, no entanto demanda mais trabalho de instalação das bases, pois se permanecerem por muito tempo na gaiola não irá refletir o efeito dos animais sobre o solo.

O número de bases deve considerar a variabilidade espacial dos piquetes ou área a ser avaliada. Recomenda-se a instalação de três bases por unidade experimental, atentando para a viabilidade de coleta e análise destas amostras. O número de repetições em campo deve ser suficiente para suportar o tratamento estatístico previsto para as medidas de fluxo de GEE.

Em situações em que o número de bases necessárias for muito elevado, uma alternativa é o agrupamento de amostras de mesmo tempo diferentes câmaras (subamostras) dentro da mesma repetição, compondo uma amostra composta para cada tempo. Por exemplo, juntar-se-á amostras de 2 câmaras num mesmo frasco cromatográfico. A partir desse procedimento, amplia-se a representatividade dos valores de taxas de emissão obtidas, sem, contudo, inviabilizar a realização do estudo, devido ao aumento no número de análises cromatográficas. Considerar para uma estimativa do tempo gasto com as análises no laboratório o tempo de análise médio de 7 minutos para cada análise cromatográfica dos gases  $N_2O$ ,  $CH_4$  e  $CO_2$ . Para equipamentos com injetor automático este tempo poderá ser superior, em média 10 minutos.

Para os tratamentos de monitoramento de emissão com presença de animais, proceder as amostragens/coletas em áreas com os animais, e anotar a presença de excretas junto às bases. Todavia, estudos no RS têm observado que menos de 1,5% da área é coberta por excretas animais e que estas ainda se concentram próximas às cercas e aguadas (CARVALHO et al., 2011). Portanto, uma melhor avaliação do efeito das excretas será possível com aplicação destas em quantidade conhecida para o monitoramento da emissão (ver item 10).

Os sistemas com componentes de floresta denominados iLPF (integração lavoura-pecuária-floresta) devem atentar para a distribuição das bases no campo de modo a buscar a melhor representatividade do sistema. A distribuição das bases deve levar em consideração os espaçamentos entre renques de árvores e o número de linhas em cada renque de árvores, ponderando a área de influência deste componente em relação à pecuária ou à lavoura. É interessante manter avaliações adicionais de condições meteorológicas dentro desses sistemas comparativamente com outros sem árvores, para fins de

comparação da influência do microclima (sombreamento) sobre as emissões de GEE. Logicamente este efeito dependerá da idade das árvores e, portanto, informações adicionais do sistema devem ser também consideradas, como posição em relação sol, tamanho de copa, altura e idade das árvores, etc.

## **9.2. Frequência de amostragem dos fluxos de GEE em campo**

A frequência deve ser tal que represente adequadamente os sistemas de produção avaliados e permita mensurar suas diferenças, quando houver. As amostragens para avaliação de GEE do solo devem ser realizadas com a maior frequência possível, sendo 14 dias o intervalo máximo recomendado entre amostragens. Para sistemas florestais, como a dinâmica da cultura é mais lenta se comparada a sistemas agrícolas, intervalos maiores podem ser adotados, mas não superiores a 30 dias, sendo ideal de 14-21 dias. Em locais onde estudos prévios já tenham sido executados será possível estabelecer frequências de avaliações diferenciadas entre as estações do ano, de acordo com as conclusões dos estudos prévios. Todavia, quando não há disponibilidade destes resultados ou se os mesmos não são conclusivos, recomenda-se seguir uma frequência com no mínimo uma avaliação semanal ou no máximo quinzenal, sendo ideal o menor tempo possível. Porém, após práticas agrícolas como adubação nitrogenada, excreções de animais, deposição de resíduos etc., as avaliações devem ser diárias durante uma semana, ou até que os fluxos do gás retornem aos valores observados na área controle. Os eventos de chuva, irrigação e drenagem costumam intensificar os fluxos de gases como  $N_2O$  e, por isso, recomenda-se que após esses eventos sejam feitas amostragens diárias por pelo menos 3 dias.

## **9.3. Análises de variáveis relacionadas**

Algumas variáveis do solo e clima são essenciais para explicar os fluxos de GEE do solo. Também são muito importantes para que sejam feitos exercícios de modelagem futuramente. Por isso,

nas amostragens de ar, é importante que outros dados também sejam levantados. Algumas variáveis são listadas a seguir, mas é importante que as equipes da modelagem de GEE confirmem se são suficientes e em que frequência serão necessárias.

Foram elencadas entre variáveis meteorológicas e de solo, dois grupos de importância, que devem ser registrados de acordo com a capacidade da equipe. As variáveis meteorológicas fortemente recomendadas seriam: precipitação e temperatura média do ar, ambas obtidas de estações meteorológicas. Em segundo plano poderia ser monitorada radiação solar, temperatura mínima e máxima. O ideal é que as estações estejam próximas às áreas monitoradas.

Dentre as variáveis de solo, sugerem-se como principais: teores de N mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ), umidade e temperatura do solo, atividade biológica (pela respiração microbiana), cujas metodologias podem ser acessadas em Piccolo et al. (1994), Tedesco et al. (1995), Claessen (1997), entre outras literaturas igualmente disponíveis. O N mineral e a umidade podem ser obtidas por coletas de amostras de solo seguidas das análises específicas. A umidade do solo também pode ser medida por sensores portáteis, assim como a temperatura do solo. Um indicador de atividade biológica pode ser a própria emissão de  $\text{CO}_2$ . Monitorar a entrada de N no sistema também é importante para explicar as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ .

Outras variáveis de solo podem ser também acessadas e podem contribuir na explicação das emissões, como densidade, porosidade, carbono da biomassa microbiana (VANCE et al., 1987), carbono orgânico dissolvido (CHANTIGNY, 2003), enzimas: urease, amidase, beta-glucosidase (SCHMITZ, 2003; TABATABAI, 1982, 1994), frações lábeis da matéria orgânica do solo: fração leve (CHRISTENSEN, 1992; CONCEIÇÃO et al., 2008) ou grosseira (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992).

## 10. Fatores de emissão dos dejetos

Para os sistemas agropecuários este estudo consistirá na determinação de fatores de emissão de  $N_2O$  para urina e esterco em diferentes regiões e épocas do ano. Este estudo é independente do estudo de monitoramento e balanço de GEE e poderá ser feito paralelo aos estudos mencionados anteriormente ou em tempo diferente, mas de preferência no mesmo local (experimento). Neste estudo, uma área do piquete será selecionada e mantida sem a presença dos animais. Os tratamentos aplicados serão doses crescentes de esterco e urina (calculados em base de nitrogênio), além da condição de solo original (sem esterco e sem urina). Salienta-se que a partir da determinação dos fatores de emissão de  $N_2O$  (por quantidade de N aplicado), será estimada a quantidade de  $N_2O$  emitida por área, considerando o volume total de urina e fezes excretado pelos animais, bem como a concentração de N nesses materiais. O efeito de fezes e urina sobre as emissões de  $CH_4$  também será avaliado.

O fator de emissão é obtido pela percentagem de N liberada como  $N_2O$  em relação à quantidade de N aplicada ao solo, descontando-se a emissão do solo. Maiores detalhes podem ser obtidos em Sordi et al. (2013).

### 10.1. Materiais e procedimentos de coleta

Os materiais e procedimentos de coleta para a avaliação das emissões a partir de dejetos (esterco e urina) serão os mesmos descritos anteriormente nos itens 2 a 8. É necessário atentar para a necessidade de grande número de bases para aqueles locais onde os estudos forem conduzidos concomitantemente com o estudo de monitoramento da emissão de GEE do solo.

## **10.2. Escolha do local para realizar as avaliações no campo**

As bases serão instaladas em áreas de pastagens, no piquete, onde os animais pastejam continua ou temporariamente. Há necessidade de isolamento da área onde as bases se encontram. O local em si para a instalação deverá representar a condição da pastagem no piquete. Cada repetição deverá receber 3 bases para testar as doses de urina, 3 bases para testar as doses de esterco e pelo menos 2 bases sem esterco e sem urina. Se o estudo for concomitante, poderá ser utilizada a base do sistema de monitoramento da emissão de GEE do solo, desde que as condições sejam semelhantes. Adicionalmente, alguns estudos recomendam que seja adotado um tratamento com adição de água com volume equivalente ao de urina. A adoção deste tratamento é opcional, pois seria uma segunda testemunha juntamente com o solo sem esterco e sem urina.

## **10.3. Definição das doses de esterco e urina**

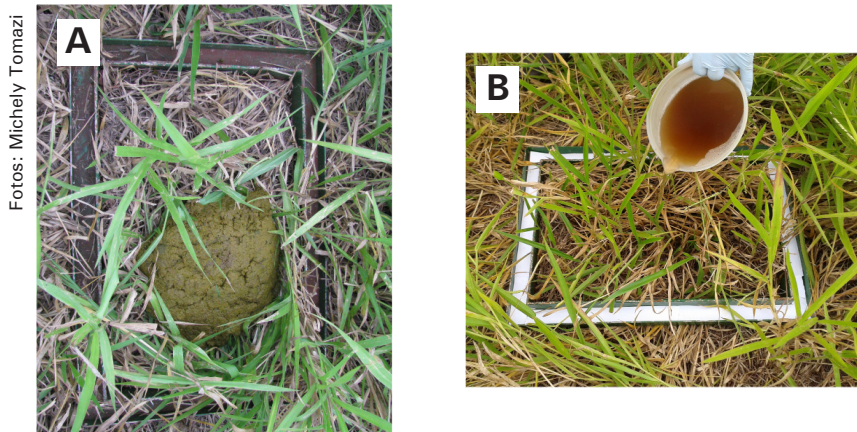
O critério para a definição das doses de esterco e urina a serem testados podem ser definidos com base no rebanho (raça, idade, alimentação) que se deseja representar. Definido o tipo de rebanho, deve-se fazer a coleta de fezes e urina dos animais separadamente, procedendo a pesagem das fezes e a medida de volume da urina. Cada urinada e esterçada coletada é medida separadamente, sendo posteriormente homogeneizada num recipiente maior.

A coleta deve ser realizada de maneira a pouco alterar a rotina dos animais. Deve-se coletar de um número representativo de animais do rebanho. Atentar que a urina deve ser coletada e armazenada em recipiente fechado e, no caso de períodos de coleta maiores que 4 horas (um turno) armazenar na geladeira. A partir do material coletado e homogeneizado, retirar amostras (pelos menos em triplicata) para a análise da composição química (MS, C, N).

De posse dos valores individuais do peso e volume do esterco e urina, respectivamente, calcular a média dos pesos de esterco e volume de urina. Estes serão denominados como o valor médio de uma urinada e uma estercada por animal.

Sugere-se que sejam testados no campo o equivalente a 0,5 e 1,5 vezes a dose média de esterco e de urina. Este procedimento visa suportar o espectro de variação na quantidade de esterco e urina dos animais no campo.

Cada dose de esterco e urina deve ser colocada em bases previamente instaladas no solo, simulando a excreção dos animais no campo (Figura 11A e 11B).



**Figura 11.** Adição de esterco (A) e urina (B) ao solo para estudo de fatores de emissão.

#### **10.4. Avaliação no campo e frequência de amostragem**

Com as bases instaladas recomenda-se realizar uma coleta de ar para avaliar a emissão do solo antes de aplicar as doses de esterco e urina. No caso de alguma base indicar resultado substancialmente diverso das demais, recomenda-se realocar a base no campo.

Após a aplicação dos dejetos, inicia-se o monitoramento, sendo recomendadas avaliações diárias ou no máximo de dois em dois

dias nos primeiros 10 dias, passando para quatro ou cinco dias entre 11-30 dias e mantendo avaliações semanais/quinzenais até 90 dias da aplicação. Esses períodos são válidos quando há umidade no solo. Caso seja período seco, aumentar a frequência após a ocorrência de chuvas. Outra alternativa seria simular a ocorrência de chuva com a irrigação da área e prosseguir as coletas por 10 dias. Porém, é necessário irrigar toda a área, pois quando apenas na base, com a elevada evapotranspiração, seca rapidamente e os efeitos não são verificados.

Os estudos com dejetos devem ser realizados nas diferentes estações do ano definidas, preferencialmente, em cada região. Na impossibilidade de realizar em todas as estações, definir as estações mais contrastantes.

### **10.5. Análise da concentração de GEE e estimativa do fator de emissão**

A análise da concentração de GEE nas amostras coletadas é similar ao descrito anteriormente, mas deve-se ter especial atenção para que os tempos de coleta fiquem dentro da curva de calibração do equipamento. Para os locais onde as emissões tenham fluxos elevados, ultrapassando os pontos da curva de calibração, recomenda-se ajustar os tempos de coleta, reduzindo o intervalo entre os tempos.

Após o fim do período de avaliação dos dejetos (~ 90 dias) deve-se proceder à estimativa dos valores acumulados de  $N_2O$  emitidos pelos tratamentos. Para se obter o fator de emissão (FE) de  $N_2O$  da urina (base de N), subtrair o  $N_2O$  emitido no tratamento urina dose "X" do  $N_2O$  emitido no tratamento testemunha, sem esterco e urina (Eq. 2). Este procedimento deverá ser adotado para quantas forem as doses de esterco e urina testados.



$$FE (\%) = \frac{(\text{kg } N\text{-}N_2O \text{ emitido urina ou esterco} - \text{kg } N\text{-}N_2O \text{ emitido na testemunha})}{(\text{kg } N \text{ adicionado (esterco ou urina)}) \times 100}$$

### 10.6. Estimativa da emissão via dejetos do piquete

Para a estimativa da emissão de  $N_2O$  via dejetos do piquete, além do fator de emissão é necessário saber qual a quantidade de N que é depositada no piquete pelos animais diariamente. Para se chegar a este valor é necessário controlar o número de animais que pasteja o piquete e o período de pastejo, bem como a concentração de N na urina e no esterco. Quanto à produção de esterco animal por dia pode-se adotar valores de estudos prévios, caso sejam disponíveis, ou de literatura. Sendo possível, fazer a avaliação para o sistema testado.

Com estas informações, é possível chegar ao valor de N depositado ao solo no período de pastejo e multiplicando-se pelo fator de emissão estimado, pode-se estimar a produção de  $N_2O$  devido às excretas animais.

A emissão total estimada de  $N_2O$  pelos dejetos nos piquetes deve ser acrescida à emissão dos animais e do solo, compondo o balanço de GEE em carbono equivalente do sistema.

### 10.7. Variáveis relacionadas

Além das variáveis citadas para o monitoramento da emissão de GEE do solo, para a avaliação da emissão pelos dejetos também é importante a perda de N por volatilização. Essa variável nos inventários nacionais é descrita como fonte indireta da emissão de  $N_2O$  do solo por deposição atmosférica de  $NH_3$  e tem valor default de 20% do N aplicado que é perdido como  $NH_3$ , do qual 1% é emitido como  $N_2O$  (EGGLESTON et al., 2006).

No caso da avaliação das variáveis do solo, incluindo a volatilização, áreas de esterco e urina adicionais devem ser simuladas apenas para o monitoramento das variáveis de solo.

## 11. Balanço das emissões de GEE na forma de carbono equivalente

Esta linha de estudo consiste na determinação do balanço das emissões de GEE em sistemas de produção. O balanço de GEE inclui a contabilidade das entradas e saídas dos GEE considerando o seu potencial de aquecimento individual em relação ao  $\text{CO}_2$  em um determinado sistema de manejo e em um determinado tempo. No caso de sistemas agropecuários, o balanço das emissões de GEE inclui as emissões  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  do solo e dos dejetos, a taxa de acúmulo de C e ainda as emissões de metano pelos animais, além dos custos em C equivalente de práticas e operações agrícolas. O balanço de C tem base na unidade de tempo, portanto, os componentes devem ser utilizados na fórmula considerando a mesma unidade de tempo (6 meses, ano, ciclo de 2 anos, etc.).

Salienta-se que o fluxo líquido de  $\text{CO}_2$  do solo é obtido pela variação dos estoques de C orgânico no solo num determinado período de tempo. Este parâmetro, geralmente, é obtido de estudos em experimentos de longa duração – os quais serão prioritariamente selecionados para esta linha de pesquisa. As orientações específicas para esta avaliação estão disponíveis em protocolos específicos de medição da dinâmica de carbono no solo.

Sobre os custos de insumos agrícolas é importante para a sua contabilidade a identificação das quantidades utilizadas em cada tratamento ou cultura anualmente. Geralmente, os custos mais comuns em sistemas agropecuários referem-se a fertilizantes, operações agrícolas, defensivos e medicamentos.

A primeira etapa da contabilidade é a transformação dos valores de N e C em moléculas de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ , respectivamente, pelo valor estequiométrico.

Na sequência, aplica-se os valores de potencial de aquecimento dos gases em relação ao  $\text{CO}_2$ , sendo 25 para  $\text{CH}_4$  e 298 para  $\text{N}_2\text{O}$ .

Os valores de balanço de GEE são então obtidos pela equação abaixo, podendo ser apresentado em  $\text{CO}_2$  ou em C equivalente.

*Balanço de C ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) = (C acumulado no solo,  $\text{kg C ha}^{-1}$ ) - (custos em C- $\text{CO}_2$  equivalente,  $\text{kg C ha}^{-1}$ ) - (\* $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{kg C ha}^{-1}$ ) - (\*\* $\text{CH}_4$ ,  $\text{kg C ha}^{-1}$ )*

\* urina + esterco + solo

\*\* urina + esterco + entérico

## Agradecimentos

Os autores agradecem as líderes dos projetos Saltus (01.11.01.001.00.00) e Pecus (01.10.06.001.00.00), Rosana Clara Victoria Higa e Patrícia Perondi Anchão Oliveira pela motivação e apoio na elaboração do documento, que servirá de base para o desenvolvimento dos estudos de monitoramento de gases de efeito estufa.

## Referências

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 56, p. 777- 83, 1992.

CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T. S.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. de A.; SILVA, F. D. da; ASSMANN, J. M.; LOPES, M. L. T.; PFEIFER, F. M.; CONTE, O.; SOUZA, E. D. de. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2011. 60 p. (Boletim técnico).

CHANTIGNY, M. H. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. **Geoderma**, Amsterdam, v. 113, p. 357-380, 2003.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v. 20, p. 1-90, 1992.

CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, M. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 541-549, 2008.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; DE LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Diurnal variation of methane emission from a paddy field under rice cultivation in the Southern Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 38, p. 2049-2053, 2008.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4: agriculture, forestry, and other land use. Japan: IGES, Japan. 2006. Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>. Acesso em: 21 mar. 2006.

JANTALIA, C. P.; DOS SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 82, p. 161-173, 2008.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T. Chamber-based trace gas flux measurements. In. FOLLETT, R. F. (Ed.). **Sampling protocols**. Washington, DC: USDA, 2010. p. 3-1, 3-39. Disponível em: <[www.ars.usda.gov/research/GRACEnet](http://www.ars.usda.gov/research/GRACEnet)>. Acesso em: 23 jun. 2012.

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Net mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and Soil**, The Hague, v. 162, p. 61-71, 1994.

ROCHETTE, P.; ERIKSEN-HAMEL, N. S. Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: are absolute values reliable? **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 72, p. 331-342, 2008.

SCHMITZ, J. A. K. **Indicadores biológicos da qualidade do solo**. 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SERTA, R. G. **Avaliação de critérios metodológicos de coleta de gases de efeito estufa emitidos a partir do solo**. 2013. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SORDI, A.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ALBURQUERQUE, M. A.; PIVA, J. T.; ZANATTA, J. A.; TOMAZI, M.; ROSA, C. M. da; MORAES, A. de. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 181, 2013.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: ASA, 1982. p. 903-943. (Agronomy, 9).

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P.J. (Ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. v. 2. p. 778-835. (Special publication, 5).

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. rev. ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (UFRGS. Boletim técnico, 5)

VANCE E. D.; BROOKES P. C.; JENKINSON D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v. 6, p. 703-707, 1997.

# Anexos

---

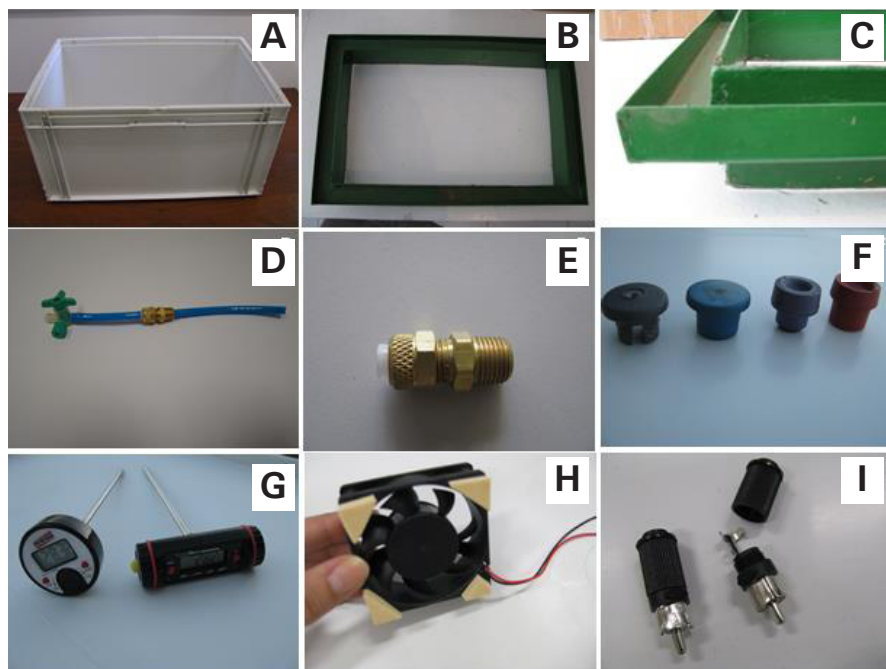
**Anexo 1.** Lista de materiais necessários para a construção da câmara de coleta modelo de base retangular (Figura 3A) e detalhes das peças individuais.

- 1 caixa plástica (de polipropileno) para fins industriais (Figura 12A);
- 1 base retangular de aço galvanizado com medidas equivalente ao formato da caixa (Figura 12B e C);
- 30 cm de tubo poliuretano 6 mm ou 1/4" (Figura 12D)
- 1 válvula multiposição ou válvula de três vias (Figura 12D);
- 1 conexão reta 1/4 x 1/8 NPT com anel (Figura 12E);
- 1 septo de borracha para colocação do termômetro (Figura 12F);
- 1 termômetro tipo espeto fixado perpendicular ao visor, com precisão de uma casa de decimal, no mínimo (Figura 12G);
- 2 microventiladores de 12 V (tipo cooler para computador, Figura 12H);
- 1 lâmina de EVA de 5 ou 10 mm, para fixação dos microventiladores;
- 0,5 metros de fio elétrico 1 mm;
- 1 plug RCA macho para conectar os fios do ventilador na bateria (Figura 12I);
- Solda de estanho para unir os fios dos ventiladores entre si, e estes ao conector RCA
- 1 m<sup>2</sup> manta térmica para recobrir a caixa e fita "silver tape" e/ou alumínio para realizar a colagem da manta na caixa plástica.
- Fita isolante;
- Cola universal – aproximadamente 100 mL por câmara
- Aplicador de cola quente de silicone e refil e/ou cola de isopor

Caso a caixa tenha “canaletas” na parte externa (como a apresentada neste exemplo), pode-se colar pedaços de madeira de pinus ou outra com densidade equivalente, para grampear a manta de alumínio. Outros espaços podem ser preenchidos com isopor da espessura da canaleta.

Para a opção de vedação com borracha está deve ser providenciada em tamanho equivalente ao perímetro da câmara.

Fotos: Michely Tomazi



**Figura 12.** Detalhes de alguns materiais utilizados para confecção da câmara.



## **Anexo 2.** Procedimentos sequenciais para montagem da câmara de coleta modelo de base retangular.

### Passo 1: Fazer orifícios na parte superior do corpo da câmara para conectar termômetro, fio do ventilador, e a válvula de coleta

Na parte superior da câmara (caixa), com broca ou furadeira (3 mm ou menor para ventilador), deve-se executar três orifícios na medida dos septos de borracha e/ou conectores disponíveis (Figura 12 F). Um quarto orifício poderá ser necessário se optar por aliviar a pressão interna (no fechamento e na retirada da câmara) por meio de septo independente. 'E possível aliviar a pressão pela válvula de coleta.

A distribuição dos orifícios deve ser tal que permita utilizar o termômetro, válvula e bateria do ventilador sem que atrapalhe o manuseio. Recomenda-se centralizar na linha mediana no sentido do comprimento da caixa, com pelo menos 15 a 20 cm de distância da parede lateral.

É importante atentar para o fato de que todos os orifícios devem ser mantidos fechados no momento da coleta.

## Passo 2: Preencher os sulcos e recobrir a caixa plástica com manta térmica

Recomenda-se que a caixa industrial tenha bordas com espessura de no máximo 2 cm, para não resultar em uma canaleta muito larga. O ideal é que toda borda seja da mesma espessura, pois irá facilitar na confecção da câmara.

O preparo da caixa inicia com:

a) o preenchimento dos sulcos próximos da borda da caixa com cola quente de silicone (Figura 13A);

b) colar pedaços de madeira nas canaletas e na parte central, com cola universal (Figura 13B);

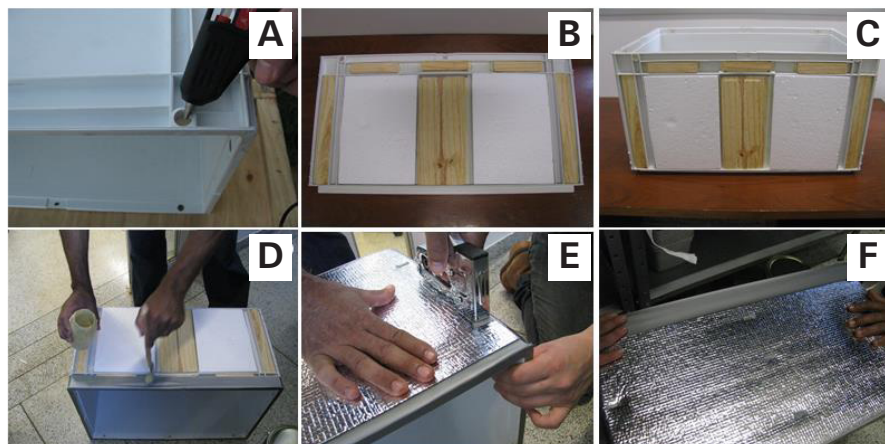
c) colar pedaços de isopor nos espaços entre as madeiras, isto ajuda a preencher os espaços sem aumentar muito o peso, comparado a utilizar somente madeira, utilizar cola de isopor ou de silicone (Figura 13B e 13C);

d) passar cola universal na borda da caixa e passar a fita silver tape; passar cola universal sobre a fita e colar uma faixa de manta térmica aluminizada que irá recobrir todas as laterais da caixa (Figura 13D);

e) grampear a manta sobre os pedaços de madeira com grampeador de pressão e pedacinhos de fita silver tape no local do grampo para evitar cortar a manta (Figura 13E); passar cola universal nas bordas externas do fundo da caixa e aderir a manta de alumínio. Fazer uns pequenos cortes nos cantos para fazer as dobras; utilizar o mínimo de cola, e testar antes do uso, pois algumas marcas ou excesso de cola podem expandir o material da manta.

g) passar cola universal sobre a fita silver tape aderida na borda da caixa, e fixar outra camada de fita que irá juntar a borda da manta a lateral da caixa revestida com a fita (Figura 13F);

h) com o fundo da caixa sobre uma madeira, pela parte interna, perfurar a manta de alumínio com broca um número menor que a utilizada para abrir os orifícios da caixa.



**Figura 13.** Materiais empregados para confecção da câmara modelo retangular.

### Passo 3: Vedação do sistema

A vedação deste tipo de câmara é feito com água. Para aqueles que optarem por vedação com borracha, recomenda-se dois procedimentos:

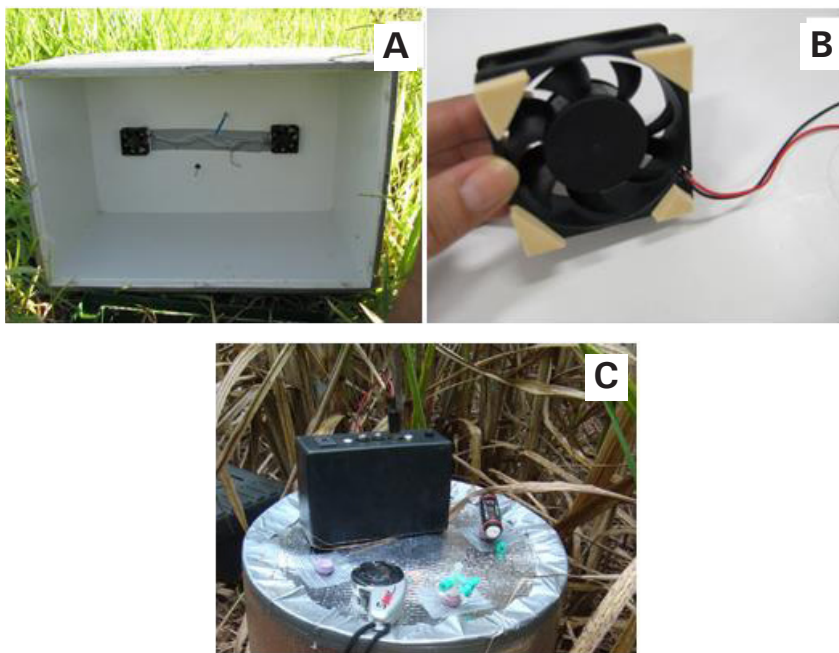
- a) Recobrir a borda da câmara com borracha macia (tipo de porta de geladeira). A borracha deve ser justa em relação a canaleta.
- b) Preencher a canaleta da base com borracha macia que deve ser colada no fundo da canaleta. O inconveniente deste procedimento é a permanência deste material no campo, exposto ao sol e chuva, o que possivelmente poderá necessitar a sua substituição em menor tempo.

Em ambos os casos, devido a leveza da câmara (caixa plástica), poderá ser necessário ajustar uma cinta apertando o corpo da câmara contra a base. A cinta poderá ser um pedaço de borracha com ganchos. Neste caso, é preciso furar a parte lateral externa da canaleta da base para conectar o gancho.

#### Passo 4: Instalar os ventiladores na parte interna da câmara

Na parte interna da caixa deve-se colar os ventiladores de modo a ficarem em posições opostas nas laterais superiores da caixa e de forma que soprem para o interior da caixa. Antes de colar os unir os fios unidos, e passa-los pelo orifício da caixa, soldar o conector RCA na ponta externa dos fios. Atentar com a polaridade dos fios ao juntar e ligar ao conector. Abaixo detalhes da instalação dos ventiladores na câmara (Figura 14A), do EVA para colagem na caixa (Figura 14B) e conexão ventilador-bateria (Figura 14C). Sistemas alternativos também podem ser observados no anexo 11 deste documento.

Fotos: Michely Tomazi



**Figura 14.** Detalhes da instalação dos ventiladores na câmara (A), do posicionamento de lâminas de EVA (B) e da conexão ventilador e bateria (C).

### Passo 5: Adaptar o termômetro e a válvula de três vias a câmara

O termômetro tipo espeto deve ser adaptado ao septo de borracha com encaixe mais justo possível (Figura 15A). O orifício para o termômetro no septo pode ser feito com um objeto pontiagudo ou furadeira. Não se recomenda realizar o orifício diretamente com o termômetro para evitar forçar a peça e causar danos ao equipamento.

A válvula de três vias, da mesma forma que o termômetro deve ser adaptada ao conector reto (Figura 15B). Quando a altura da câmara for maior que 20 cm adaptar a válvula a uma mangueira para que a retirada da amostra seja efetuada na altura central da câmara, aproximadamente 10-15 cm acima do nível do solo. Cuidar com a presença de plantas que pode dobrar a mangueira no momento da coleta impedindo a amostragem. Portanto, preferir materiais mais rígidos como canos de cobre, por exemplo.

A válvula também pode ser acoplada a câmara por conexões do tipo prensa cabo (Figura 15C).

Após estas etapas de montagem a câmara está pronta para uso no campo.

Fotos A e B : Michely Tomazi

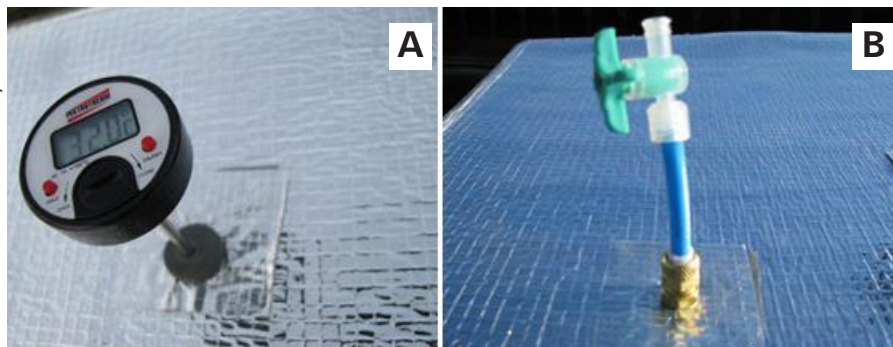
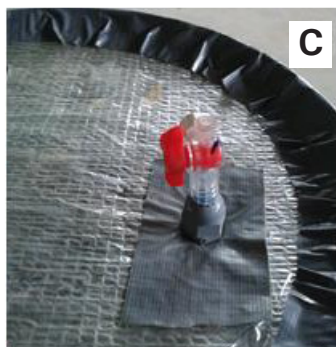


Foto: Josiléia Acordi Zanatta



**Figura 15.** Detalhes da fixação do termômetro com o septo de borracha (A) e válvula de três vias com mangueira e conexão reta rosqueada no topo da câmara (B) ou com conexão do tipo prensa cabo (C).

**Anexo 3.** Orçamento estimado para a confecção da câmara de coleta modelo de base retangular. Valores em reais.

Material	Unidades por câmara		Preço por unidade (R\$)	Preço por câmara (R\$)
Caixa industrial de polipropileno	1	Un	105,00	105,00
Base rectangular galvanizada	1	Un	230,00	230,00
Termômetro tipo espeto	1	Un	50,00	50,00
Septo borracha	3	Un	3,00	9,00
Microventiladores	2	Un	15,00	30,00
Lâmina de EVA	1	Un	5,00	5,00
Conexão reta ¼ x 1/8 NPT	1	Un	8,00	8,00
Tubo azul	0,3	metros	2,00	0,60
Válvula três vias	1	Un	4,50	4,50
Fio 1 mm	2	metros	2,00	4,00
Plug RCA macho	3	Un	2,30	6,90
Manta térmica aluminizada	1	metro <sup>2</sup>	5,60	5,60
Solda estanho	1	metro	3,00	3,00
Fita isolante	1	Rolo	3,50	3,50
Cola universal	1	frasco	18,00	18,00
Aplicador cola quente	1	un	12,00	12,00
Lâmina de isopor	1	Un	3,00	3,00
Total				R\$ 498,10

Un = unidade

**Anexo 4.** Lista de materiais necessários para a construção da câmara de coleta modelo de base cilíndrica (Figura 3B).

- 1 balde de material plástico para fins industriais de 30 L (Figura 16A);
- 1 base circular de aço galvanizada com medidas compatível ao do recipiente de poliuretano (Figura 16B);
- 1 conexão reta 1/4 x 1/8 NPT com anel (Figura 12D);
- 30 cm de tubo poliuretano 6 mm ou 1/4" (Figura 12D);
- 1 válvula multiposição ou válvula de três vias (Figura 12D);
- 1 septo de borracha para colocação do termômetro (Figura 12F);
- 1 termômetro tipo espeto (Figura 12G);
- 1 microventiladores de 12 V (Figura 12H);
- 0,5 metros de fio elétrico 1 mm;
- 1 plug RCA macho para conectar os fios do ventilador na bateria (Figura 12I);
- Solda de estanho para unir os fios dos ventiladores entre si, e estes ao conector RCA;
- 0,5 m<sup>2</sup> manta térmica para recobrir o recipiente e fita "silver tape" para realizar a colagem;
- Fita isolante;
- Borracha tipo tarugo para contornar a circunferência da câmara (detalhe na Figura 16B).





**Figura 16.** Balde de 30 L utilizado para confecção da câmara cilíndrica (A), base de metal e tarugo de borracha que circunda a base da câmara (B).

## **Anexo 5.** Procedimentos sequenciais para montagem da câmara de coleta modelo de base cilíndrica.

### Passo 1:

Na parte superior da câmara, centralizados, executar os orifícios para:

- para termômetro;
- para fios elétricos do ventilador;
- para válvula de três vias.

### Passo 2:

Recobrir o recipiente com manta térmica, iniciando pelas laterais e finalizando na parte superior da câmara. Colagem com fita "Silver tape". Na parte superior da câmara abrir os orifícios na manta e recobrir com fita.

### Passo 3:

Contornar a borda da câmara com borracha tipo tarugo com dimensões exatas para se encaixar justamente na canaleta e vedar o sistema câmara-base. Cortar ou aprofundar o corte da borracha para o melhor encaixe na borda do balde e com auxílio de cola de termoplástica fixar a borracha.

### Passo 4:

Instalar os ventiladores na parte interna da câmara, com auxílio de cola de PVC. Passar os fios do ventilador pelo septo de borracha e adaptar na extremidade do fio um plug tipo RCA macho.

### Passo 5:

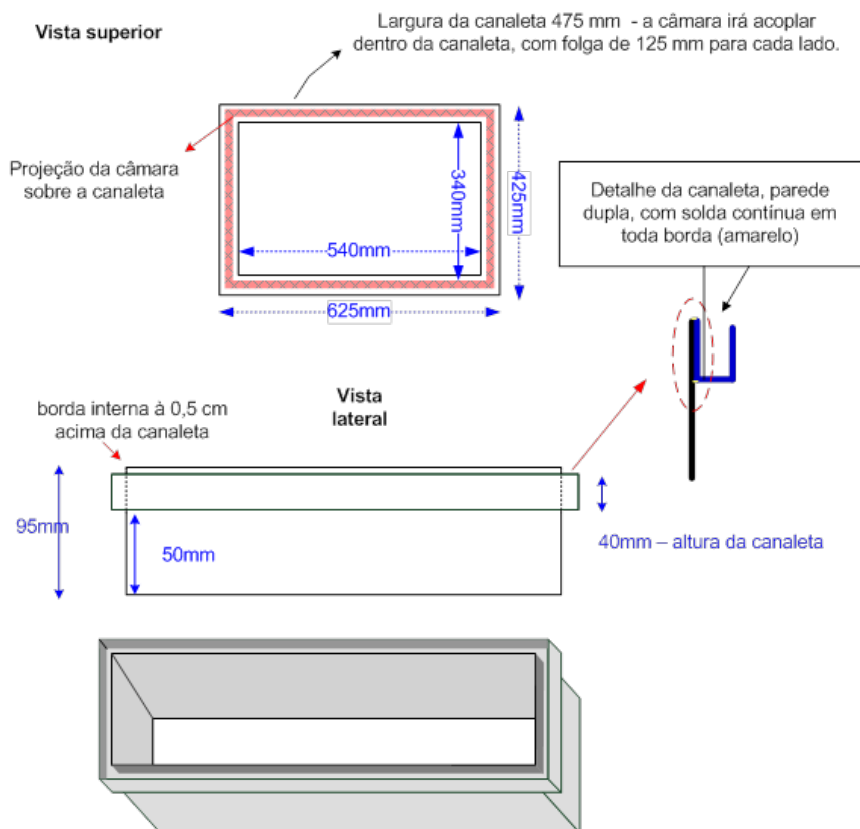
Instalar o termômetro e a válvula de três vias na parte superior da câmara.

**Anexo 6.** Orçamento estimado para a confecção da câmara de coleta modelo de base cilíndrica.

<b>Material</b>	<b>Unidades por câmara</b>		<b>Preço por unidade (R\$)</b>	<b>Preço por câmara (R\$)</b>
Recipiente de polietano 30L	1	Un	40,00	40,00
Base circular galvanizada	1	Un	80,00	80,00
Termômetro tipo espeto	1	Un	50,00	50,00
Septo borracha	3	Un	3,00	9,00
Microventiladores	1	Un	15,00	15,00
Conexão reta ¼ x 1/8 NPT	1	Un	8,00	8,00
Tubo azul PU	0,3	metros	2,00	0,60
Válvula três vias	1	Um	4,50	4,50
Fio elétrico 1 mm	2	metros	2,00	4,00
Plug RCA macho	1	Um	2,30	2,30
Manta térmica	0,5	metro <sup>2</sup>	5,60	2,80
Solda estanho	0,5	metro	3,00	1,50
Fita isolante	1	Rolo	3,50	3,50
Total				R\$ 221,20

## Anexo 7. Desenho esquemático e medidas da base metálica retangular de aço galvanizado.

**Modelo para confecção de base metálica de fixação no solo para acoplar câmara de coleta de ar do solo feita com caixa marca Marfinite modelo 1074**



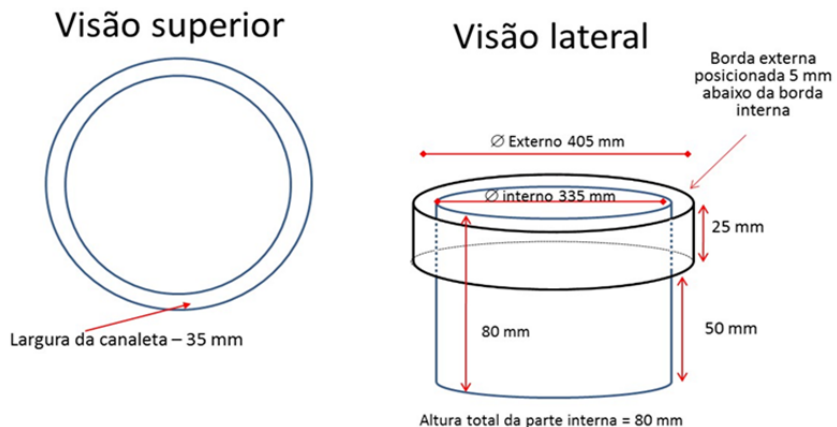
**Confecção com chapa 2,5 mm de aço inox 316 ou aço galvanizado com pintura anticorrosiva.**

**OBS:** Estas medidas são para câmara que utiliza vedação com água, caso for utilizar vedação com borracha, adequar as medidas da canaleta de acordo com a borracha.

**Figura 17.** Modelo para confecção de base retangular com as medidas de borda interna 365 x 565 mm e externa 400 x 600 mm.

## Anexo 8. Desenho esquemático e medidas da base metálica circular de aço galvanizado.

Medidas da base circular para acoplar câmaras feitas com balde de 30 L da Jaguar, com diâmetro interno da boca 365mm



**Confecção das bases com chapa de 1,5 mm em inox 316 ou aço galvanizado com pintura anticorrosiva.**

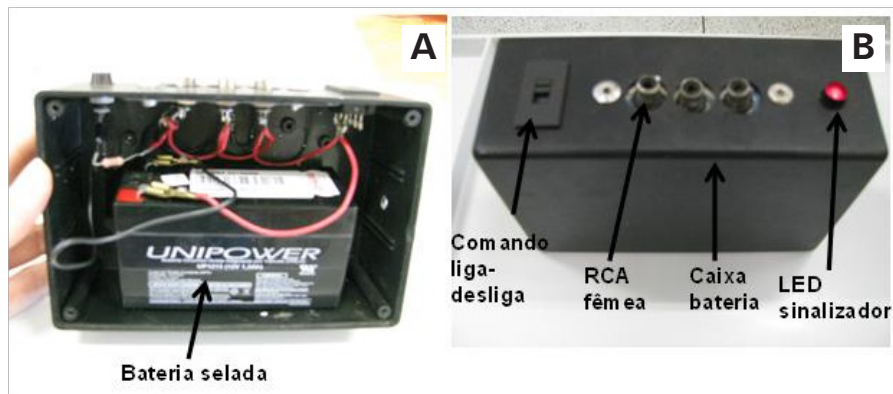
**OBS:** Estas medidas são para câmara feita com balde e vedação com água, caso for utilizar vedação com borracha, adequar as medidas da canaleta de acordo com a borracha.

**Figura 18.** Modelo para confecção de base circular para acoplar câmara feita com balde de 30 litros, com diâmetro externo da boca de 365 mm.

## **Anexo 9.** Lista de materiais necessários para a confecção da bateria externa para acionamento dos ventiladores.

- bateria selada de 12 V e 1,3 Ah (Figura 19A);
- carregador para a bateria;
- fios elétricos (comprimentos variados);
- caixa plástica ou metálica que comporte a bateria e instalações (Figura 19B);
- conectores RCA macho (Figura 12I) e fêmea (Figura 19B);
- fita isolante;
- comandos liga-desliga (Figura 19B);
- leds sinalizador de funcionamento (Figura 19B);

Fotos: Michely Tomazi



**Figura 19.** Detalhes do materiais necessário para confecção das baterias conjugadas para acionamento dos ventiladores com destaque para bateria selada (A) e demais utensílios (B).

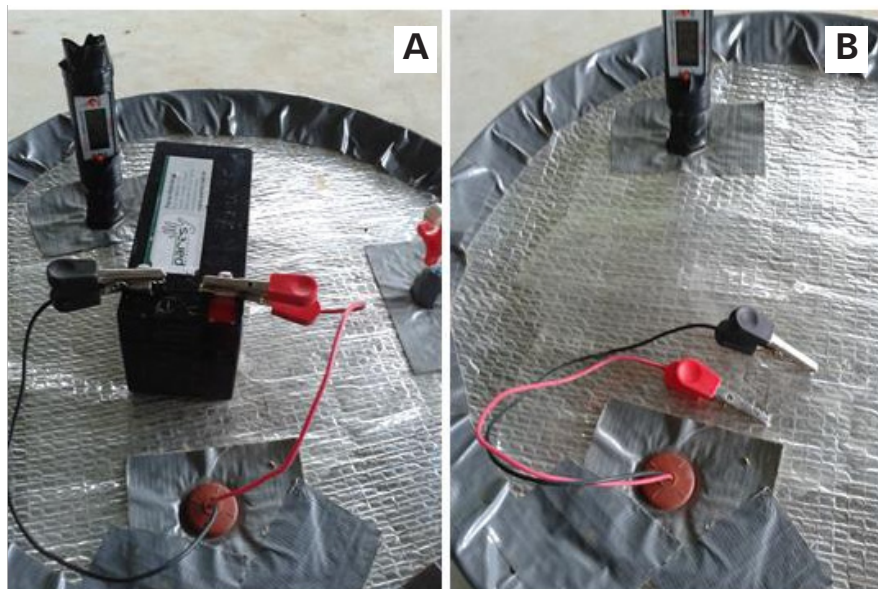
**Anexo 10.** Orçamento estimado das peças para montagem da bateria externa para acionamento dos ventiladores.  
Valores em reais.

<b>Material</b>	<b>Unidades por câmara</b>		<b>Preço por unidade (R\$)</b>	<b>Preço por câmara (R\$)</b>
Bateria selada 12V e 1,3 Ah	1	Un	45,00	45,00
Carregador bateria	1	Un	54,00	54,00
Plug RCA fêmea	3	Un	3,10	9,30
Suporte plástico	1	Un	15,00	15,00
Comando liga-desliga	1	Un	4,10	4,10
Led sinalizador	1	Un	2,00	2,00
<b>Total</b>				<b>129,40</b>

Un = unidade

## Anexo 11. Conexão simplificada da bateria para acionamento do ventilador.

Fotos: Josiléia Acordi Zanatta



**Figura 20.** Ilustração da conexão simplificada entre ventilador e bateria selada (A) através de garras tipo jacaré (B).



**Anexo 12.** Lista de fornecedores de frascos e septos para armazenamento de amostras.

Identificação material	Características	Preço site* (1000 un)	Contato
Frascos 737W	Vials com rosca e septo, 12 mL, altura: 101 mm, diâmetro: 15.5 mm	~ R\$ 633,00 (frasco + septo)	<a href="http://www.labco.co.uk/ukandinational/gas.htm#doublewad12ml">http://www.labco.co.uk/ukandinational/gas.htm#doublewad12ml</a>
Frascos 237501	Vials para anel pressão, 20 mL, 23 x 75 mm	~ R\$ 522,63	<a href="http://www.chromres.com/20-ml-Round-Bottom-Beveled-Top-Headspace-Vial-100pk-P8570.aspx">http://www.chromres.com/20-ml-Round-Bottom-Beveled-Top-Headspace-Vial-100pk-P8570.aspx</a>
Frasco 27199	Vials 20 mL 23 x 75 mm, para anel pressão,	~ R\$ 1510,00	<a href="http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/supelco/27199?lang=pt&amp;region=BR">http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/supelco/27199?lang=pt&amp;region=BR</a>
Septos VC 329	Duplos de silicone e teflon	~ R\$ 885,69	<a href="http://www.labco.co.uk/ukandinational/gas.htm#doublewad12ml">http://www.labco.co.uk/ukandinational/gas.htm#doublewad12ml</a>
Septo ID 320401	Septo de butyl 20 mm	~ R\$ 321,90	<a href="http://www.chromres.com/Basket.aspx">http://www.chromres.com/Basket.aspx</a>
Septo ID 73828A-RB	Septo de butyl, 20 mm	~ R\$ 277,50	<a href="http://www.voigtglobal.com/manufacturer/1282-Round-Bottom-Vial-Stopper.asp">http://www.voigtglobal.com/manufacturer/1282-Round-Bottom-Vial-Stopper.asp</a>
Anel magnético pressão ID320607	Anel magnético 20mm	~ R\$ 280,46	<a href="http://www.chromres.com/20mm-Magnetic-Ring-Crimp-Cap-100pk-P8904.aspx">http://www.chromres.com/20mm-Magnetic-Ring-Crimp-Cap-100pk-P8904.aspx</a>

\*Valores estimados.

**Anexo 13.** Planilha de campo, modelo 1, para coletas onde o coletor é responsável por repetições do mesmo tratamento.

## PLANILHA DE COLETA

[illegible]

**Anexo 14.** Planilha de campo, modelo 2, para coletas com tratamento de dejetos e urina, onde o coletor é responsável por 7 câmaras de coleta, com intervalo de dois minutos entre coletas.

PLANILHA DE COLETA

GEE esterco e urina					Tratamento				
Coletor					Data				
Condições tempo					Início				
<b>Câmara 1</b>					<b>Câmara 5</b>				
Tempo	Seringa	T°C câmara	T°C solo	Frasco	Tempo	Seringa	T°C câmara	T°C solo	Frasco
0					8				
15					23				
30					38				
OBS					OBS				
<b>Câmara 2</b>					<b>Câmara 6</b>				
Tempo	Seringa	T°C câmara	T°C solo	Frasco	Tempo	Seringa	T°C câmara	T°C solo	Frasco
2					10				
17					25				
32					40				
OBS					OBS				
<b>Câmara 3</b>					<b>Câmara 7</b>				
Tempo	Seringa	T°C câmara	T°C solo	Frasco	Tempo	Seringa	T°C câmara	T°C solo	Frasco
4					12				
19					27				
34					42				
OBS					OBS				
<b>Câmara 4</b>					<b>OBS gerais</b>				
Tempo	Seringa	T°C câmara	T°C solo	Frasco					
6									
21									
36									
OBS									

**Anexo 15.** Planilha de cálculo das emissões de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, para dois tratamentos com três repetições cada, coleta com três tempos de incubação.

[illegible]

**Anexo 16.** Planilha para abastecimento do banco de dados com dados da identificação dos sistemas de produção, tratamentos e práticas de manejo.

Dados do local e do experimento	Informações
1-Identificação na REDE	
2-Local e bioma	
3-Unidade da Embrapa ou instituição parceira:	
4- Solo	
5-Clima	
6-Descrição do experimento	
7-Ano de instalação	
8-Coordenadas geográficas	
9-Altitude	
10-Tratamentos monitorados	
11-Data início avaliações de GEE	

**Anexo 17.** Planilha para abastecimento do banco de dados com resultados de monitoramento da emissão de GEE do solo.

[illegible]

**Anexo 18.** Planilha para abastecimento do banco de dados com resultados de variáveis de solo relacionadas a emissão de GEE do solo.

Data	TRAT	Rep campo	Variáveis de solo						
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Umidade solo (g kg <sup>-1</sup> )	PPA <sup>1</sup> (%)	T solo (°C)	COD <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	C biomassa (mg kg <sup>-1</sup> )
			(mg N kg <sup>-1</sup> )						

<sup>1</sup>Porosidade do solo preenchida por água; <sup>2</sup>Carbono orgânico dissolvido.

**Anexo 19.** Planilha para abastecimento do banco de dados com resultados de variáveis meteorológicas relacionadas a emissão de GEE do solo.

[illegible]



